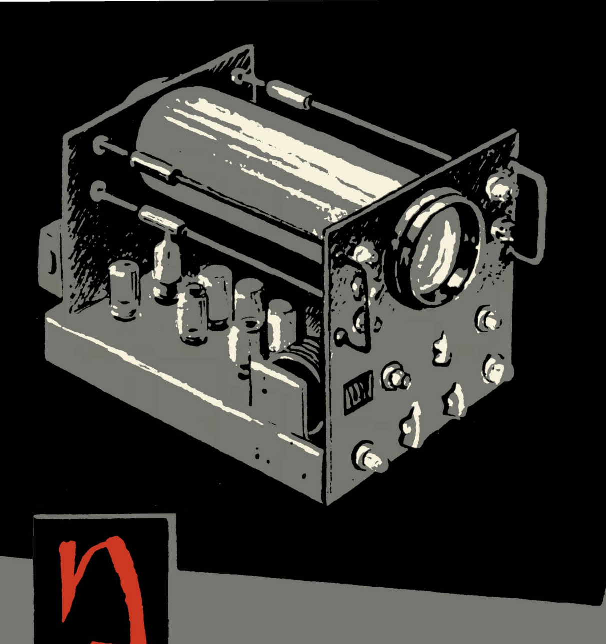




ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ для ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ЭНЕРГИЯ»

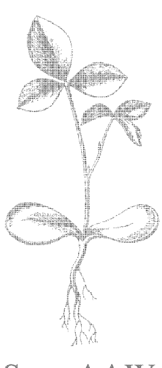
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 520

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

(Радиолюбители — народному хозяйству)

Под общей редакцией
А. Д. СМИРНОВА



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА 1964 ЛЕНИНГРАД

УДК 621.317.39

В книге кратко излагаются принципы построения и конструирования электрических приборов для измерения неэлектрических величин. Рассматриваются основные элементы этих приборов — преобразователи неэлектрических величин в электрические и измерительные схемы. Приводится описание ряда конструкций приборов, зарекомендовавших себя при практическом использовании их. Даются указания по наладке приборов.

Предназначена книга для подготовленных радиолюбителей, занимающихся внедрением радиоэлектроники в народное хозяйство.

Электронные приборы для измерения неэлектрических величин,
М.—Л., издательство «Энергия», 1964,
88 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 520).
Тематический план 1963 г., № 334

Редактор *Ф. И. Барсуков* Техн. редактор *О. П. Печенкина*
Художник *А. М. Кувшинников*

Сдано в набор 13/I 1964 г. Подписано к печати 20/III 1964 г.
Т-04227 Бумага 84×108¹/₃₂ 4,51 печ. л. Уч.-изд. 5,8
Тираж 30 000 экз. Цена 23 коп. Зак. 1020

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР по печати
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В Программе КПСС, принятой XXII съездом, значительное место отводится автоматизации, которая будет осуществляться со все большим переходом к цехам и предприятиям-автоматам.

Задачу создания материально-технической базы коммунизма можно успешно решить только увеличением производительности труда на базе полной автоматизации и механизации промышленности и сельского хозяйства, разработкой новых, более производительных методов ведения работ, созданием и внедрением новой техники.

Огромное значение для технического прогресса имеет внедрение радиоэлектроники во все области народного хозяйства. В решении этой задачи заметную роль играет радиолюбительское движение. Радиолюбители, люди разных профессий, обладая знаниями радиотехники, имея богатый производственный опыт и зная нужды своего участка работы, стали подлинными пропагандистами радиоэлектроники и внедрения ее в народное хозяйство. Они все больше работают над созданием конструкций, предназначенных для автоматизации производственных процессов и повышения производительности труда.

Много радиоэлектронных приборов, сделанных радиолюбителями, уже внедрено в производство и приносит большую пользу народному хозяйству.

Прошедшая под девизом «Радиолюбители — техническому прогрессу!» XIX выставка творчества радиолюбителей-конструкторов успешно продемонстрировала новые достижения радиолюбителей и прямую связь их деятельности с задачами, провозглашенными Программой КПСС.

Выставка показала, что радиолюбители упорно ищут и находят новые пути применения радиоэлектроники в народном хозяйстве.

Неоднократно радиолюбители-конструкторы в своих выступлениях на научно-технических конференциях, сопутствующих Всесоюзным радиовыставкам, говорили о необходимости популяризации их работ, об издании брошюр и книг с описанием конструкций, направленных на внедрение радиоэлектроники в народное хозяйство.

Идя навстречу этим начинаниям, редакция МРБ выпускает в текущем году два сборника под общим заголовком «Радиолюбители — народному хозяйству». Предлагаемый сборник знакомит радиолюбителей-конструкторов с опытом конструирования приборов для физико-химических и механических измерений, широко используемых для контроля различных производственных процессов,

В первой главе сборника освещены основные вопросы конструирования указанных приборов, рассмотрены физические основы преобразования неэлектрических величин в электрические и принципы действия основных измерительных устройств. В последующих главах приводятся конкретные описания радиолюбительских конструкций. Бóльшая часть из них демонстрировалась на выставках творчества радиолюбителей-конструкторов ДОСААФ.

Первая глава и часть третьей написаны А. Д. Смирновым, остальные главы—радиолюбителями-конструкторами, авторами описываемых конструкций.

Отзывы и пожелания по сборнику просим направлять по адресу: Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия» — редакции Массовой радиобиблиотеки.

Редакция Массовой радиобиблиотеки

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

1. Основные элементы приборов для измерения неэлектрических величин

Электрические методы измерений неэлектрических величин с каждым годом находят все более широкое применение. Это связано с тем, что при сравнительно несложных аппаратуре и методике измерений они позволяют с высокой степенью точности определять значения измеряемых величин и следить за изменением их во времени при практически любой скорости протекания процесса. Применяя электрические методы, можно осуществлять измерения на расстоянии, что имеет большое значение при контролировании процессов, опасных для здоровья и жизни людей.

Электронные приборы для измерения неэлектрических величин по своему принципу действия делятся на две основные группы: приборы, основанные на непосредственном преобразовании измеряемой величины в электрическую с последующим ее измерением, и приборы, основанные на сравнении измеряемой величины с образцовой. В состав приборов первой и второй групп входят три основных элемента: преобразователь измеряемой величины в электрическую, измерительная схема и индикаторное (исполнительное) устройство. На рис. 1 изображены типовые блок-схемы приборов первой и второй групп. Как видно из рисунка, преобразователь прибора второй группы более сложен по устройству, так как он состоит из двух преобразовательных устройств и ячейки сравнения. Это усложнение схемы позволяет простыми средствами уменьшить влияние дестабилизирующих факторов (нестабильность температуры, питающих напряжений) на точность измерений.

Приборы как первой, так и второй группы работают следующим образом.

С помощью преобразователя измеряемая неэлектрическая величина преобразуется в электрический сигнал, измеряемый затем соответствующим электроизмерительным прибором. Назначение измерительной части схемы — передать сигнал с выхода преобразователя на вход исполнительного устройства. В зависимости от условий измерения эта часть прибора может выполнять функции усиления, преобразования, согласования и т. п В простейшем случае измерительная схема представляет собой соединительные провода. Сигнал

с измерительной части прибора поступает на вход исполнительного устройства, в качестве которого в зависимости от назначения прибора могут быть использованы электроизмерительные приборы, самописцы, электронно-лучевые индикаторы, различные управляющие и регулирующие элементы.

Выбор параметров прибора определяется следующими исходными данными: 1) назначением прибора и характером преобразуемой величины; 2) чувствительностью прибора, необходимым уровнем вы-

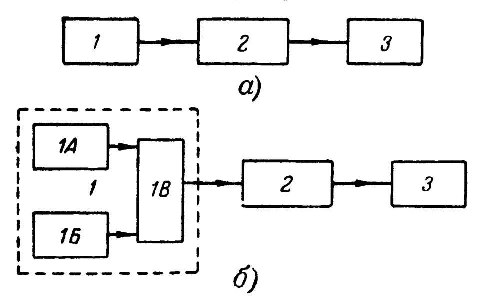


Рис. 1. Блок-схемы приборов первой (*а*) и второй (*б*) групп.

1 — преобразователь (*1А* — измерительный преобразователь; *1Б* — преобразователь ячейки сравнения; *1В* — ячейка сравнения); *2* — измерительная схема; *3* — индикаторное или исполнительное устройство.

ходного сигнала и допустимыми погрешностями измерения; 3) скоростью изменения исследуемого процесса и соответственно инерционностью прибора; 4) условиями эксплуатации прибора.

Разберем кратко значение каждого из перечисленных данных в отдельности.

Назначение прибора обусловливает выбор типа преобразователя и — в зависимости от характера выходного устройства — блок-схемы.

Чувствительность прибора определяется чувствительностью составляющих его элементов. Она должна быть такой, чтобы полезный сигнал четко выделялся на фоне помех. Чувствительность может быть повышена за счет увеличения уровня полезного сигнала или снижением уровня помех. Последнее наиболее просто осуществляется в приборах второй группы. Поэтому приборы, работающие на принципе сравнения, как правило, обладают более высокой чувствительностью, чем приборы с непосредственным преобразованием.

Измерительная часть схемы при заданной чувствительности преобразования должна обеспечить необходимый уровень выходного сигнала для срабатывания исполнительного механизма. Так, к примеру в устройствах автоматического управления и регулирования уровень выходного сигнала должен быть достаточным для работы управляющего электродвигателя.

Погрешность измерения неэлектрической величины определяется суммой погрешностей каждого элемента схемы прибора. Для уменьшения результирующей погрешности в схему прибора вводят цепь обратной связи, составленную из элементов обратного преобразова-

ния сигнала. На рис. 2 показана блок-схема прибора с цепью обратного преобразования В этом случае часть выходного сигнала с исполнительного устройства с обратным знаком подается в преобразователь и на элементы измерительной схемы, снижая тем самым уровень погрешностей прибора.

При разработке прибора для измерения или регулирования исследуемых процессов надо учитывать скорость изменения измеряемых параметров. Это необходимо для того, чтобы инерционность отдельных узлов схемы не вносила существенных искажений в результаты измерений. Кроме того, в зависимости от скорости изменения параметров, характеризующих процесс, находится также выбор исполнительного устройства. Так, например, применение самописцев типа ЭПП-09 дает возможность исследовать процессы с частотой изменения параметров, не превышающей 1,5 *гц*. Для более быстро изменяющихся процессов применяют самописцы с фотозаписью или электронно-лучевые индикаторы.

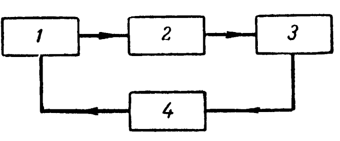


Рис 2. Блок-схема прибора с цепью обратного преобразования.

1 — преобразователь; *2* — измерительная цепь; *3* — индикаторное устройство; *4* — устройство обратного преобразования.

Ниже подробно рассматриваются параметры и конструкции отдельных элементов схем приборов для физико-химических и механических измерений.

2. Преобразователи, их параметры и конструктивные особенности

В настоящее время имеется большое количество разнообразных приборов для электрического измерения физико-химических и механических величин. Это объясняется тем, что в связи с механизацией и автоматизацией народного хозяйства нашей страны количество таких измерений значительно возросло. Несмотря на большое разнообразие встречающихся измерений, устройство самих приборов основано на измерении сравнительно небольшого количества величин, а именно: на измерении промежутков времени, температуры, количества тепла, перемещений, скорости, ускорений, сил и их моментов, давлений, влажности, плотности, вязкости, концентраций, расхода и некоторых других. Если же перейти к физическим явлениям, лежащим в основе преобразования перечисленных здесь величин в электрические, то их окажется еще меньше.

Общими требованиями, предъявляемыми к преобразователям, являются следующие: преобразователь должен обладать достаточной чувствительностью к преобразуемой величине, осуществлять непрерывную зависимость выходной величины от входной и сохранять постоянство своих характеристик во времени независимо от влияния внешних факторов (температура, влажность и др.). Кроме того, обратное воздействие преобразователя на контролируемый процесс должно быть несущественным.

По своему устройству преобразователи делятся на две большие группы: преобразователи, в которых неэлектрические величины преобразуются в изменения параметров элементов электрических схем

(величины сопротивления, емкости, индуктивности и взаимной индуктивности), и преобразователи, осуществляющие преобразование неэлектрических величин в э. д. с. (термопары, пьезоэлементы, индукционные и электрохимические преобразователи). Приборы с преобразователями первой группы требуют обязательно источников питания, приборы же с преобразователями второй группы могут работать без источников питания. Например, термопара может работать непосредственно на чувствительный гальванометр.

Преобразователи первой и второй групп имеют статические и динамические характеристики. Статической характеристикой преобразователя называется зависимость выходной величины от входной при сравнительно медленных изменениях последней. На рис. 3 изображена в общем виде статическая характеристика преобразователя. При этом отношение

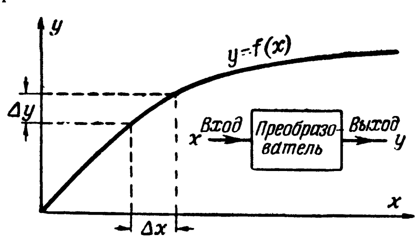


Рис. 3. Статическая характеристика преобразователя.

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

называют чувствительностью преобразователя. Динамической характеристикой преобразователя называется зависимость выходной величины от входной при быстрых изменениях последней. Знание статической и динамической характеристик преобразователя необходимо при проектировании систем измерения и регулирования неэлектрических величин.

Рассмотрим наиболее распространенные типы преобразователей.

Термосопротивление — омическое сопротивление, величина которого изменяется в зависимости от его теплообмена с внешней средой. На интенсивность теплообмена оказывают влияние следующие факторы: геометрические размеры, форма, материал проволоки и арматуры преобразователя; состав, плотность, вязкость, теплопроводность, скорость перемещения и температура исследуемой среды (жидкой, твердой или газообразной). Источником тепла при этом является ток, пропускаемый через сопротивление. Большое число факторов, оказывающих влияние на теплообмен, делает практически неограниченной область применения термосопротивлений. Термосопротивления используются при анализе различных параметров газовых и жидких сред (для измерения температуры, концентрации, состава, скорости потока и т. п.), а также для измерения вакуума.

Различают два основных типа термосопротивлений — проволочные и полупроводниковые. Независимо от типа термосопротивление должно иметь большой и постоянный температурный коэффициент, высокое удельное сопротивление, обладать устойчивостью физических и химических свойств при высоких температурах.

В качестве основных материалов для изготовления проволочных термосопротивлений, как правило, используют чистые металлы — платину, медь, никель, вольфрам. Наиболее химически стойким материалом является платина. Однако она имеет низкое удельное сопротивление и большой коэффициент температурного расширения при значительной остаточной деформации. Все это препятствует ис-

пользованию платиновых термометров сопротивлений в наиболее чувствительном режиме работы — без армировки. Кроме того, технология изготовления платиновых термометров усложнена тем, что для получения высокой чувствительности приходится использовать весьма тонкую (диаметром 0,02 *мм*) платиновую проволоку.

Платиновые термосопротивления могут использоваться для измерения температур в интервале от —183 до + 660° С. Сопротивление платиновой проволоки изменяется в зависимости от температуры по следующим законам:

в интервале от 0 до 660° С

$$R_t = R_0 (1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2),$$

а в интервале от — 183 до 0° С

$$R_t = R_0 [1 + \beta_1 t + \beta_2 t^2 + \beta_3 (t - 100) t^3],$$

где R_0 — сопротивление проволоки при 0° С;
$\beta_1 = 3,94 \cdot 10^{-3}$;
$\beta_2 = -5,8 \cdot 10^{-7}$;
$\beta_3 = -4 \cdot 10^{-12}$.

Более подходящим материалом для изготовления чувствительных термосопротивлений является вольфрам. До недавнего времени широкому использованию вольфрамовых термосопротивлений мешала значительная химическая активность вольфрама при высоких температурах. В настоящее время разработана технология получения золоченой вольфрамовой проволоки, химически стойкой в широком интервале температур.

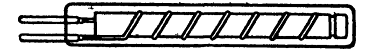


Рис. 4. Конструкция платинового термосопротивления в стеклянной армировке.

На рис. 4 изображена схематически конструкция платинового термосопротивления, изготовленного следующим образом. На стеклянной трубке наружным диаметром 2—5 *мм* с помощью плавиковой кислоты вытравливают спиральные канавки с шагом спирали 0,1—0,05 *мм*. В эти канавки укладывают проволоку диаметром 0,02—0,07 *мм*, к концам которой приваривают платиновые выводы диаметром 0,2—0,5 *мм* и длиной 2—3 *см*, к которым затем припаивают концы медной проволоки. После намотки платиновой спирали стеклянную трубку оплавляют стеклом. Таким образом, удается получить платиновые термосопротивления в 100—120 *ом*, длиной 10—15 и диаметром 3—4 *мм*.

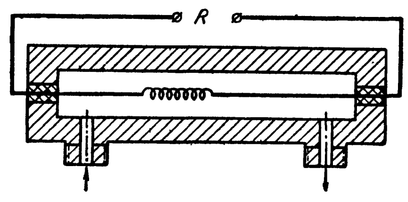


Рис. 5. Конструкция термосопротивления из золоченого вольфрама.

На рис. 5 показано устройство термосопротивления из золоченой вольфрамовой нити, применяемого для определения состава газовой смеси. Сопротивление такой нити может доходить до 100—150 *ом*. Как видно из рис. 5, в данном случае вольфрамовая золоченая спираль используется без армировки. Вызвано

Основные характеристики отечественных

Параметр	Тип тер					
	ММТ-1	ММТ-4	ММТ-5	ММТ-6	КМТ-1	КМТ-2
Диапазон величин номинальных сопротивлений, *ком* . . .	1—200	1—200	1—200	10—100	20—1 000	20—1 000
Температурный коэффициент, % на 1° С	—3,4	—3,4	—3,4	—3,4	—6	От —4,5 до —6
Интервал рабочих температур, °С . .	От —70 до +120	От —70 до +120	От —70 до +120	От —70 до +120	От —20 до +180	От —20 до +180
Допустимая мощность рассеивания, *мвт*	400	400	400	50	800	800
Постоянная времени, *сек*	85	115	90	—	85	115
Наименьшее значение мощности в рабочей точке при 20° С, *мвт*	—	—	—	—	—	—
Наибольшее значение мощности в рабочей точке при 20° С, *мвт*	—	—	—	—	—	—
Чувствительность в рабочей точке, *ом/мвт*	—	—	—	—	—	—
Срок службы, *ч* . . .	До 5 000	До 5 000	До 5 000	До 5 000	До 5 000	До 5 000
Назначение и область применения	Термометры сопротивления для измерения и регулирования температуры					

Таблица 1

полупроводниковых термосопротивлений (термисторов)

мистора							
КМТ-10	КМТ-11	ТОС-М	Т8Д	Т8Е	Т8М	Т8Р	Т9
100—3 000	100—3 000	5—6,5	0,15	0,15	0,2	0,125	0,125
От —4,5 до —6	От —4,5 до —6	+3	От —1 до —5,8	От —1 до —5,8	От —1 до —5,8	От —1 до —5,8	От —1 до —5,8
От 0 до +120	От —40 до +120	От 0 до +180	—	—	—	—	—
250	250	50	—	—	—	—	—
—	—	4,5	0,5—2,5	0,5—2,5	0,5—2,5	0,5—2,5	0,5—2,5
—	—	—	10	7	9	7	7
—	—	—	15	10	11	12	19
—	—	—	20—30	30—70	66—90	10—19	10—40
200 срабатываний аварийных		500	500	500	500	500	500
Для систем теплового контроля		Датчик температуры	Чувствительные элементы для измерения мощности высокочастотных колебаний				

это тем, что для определения микроконцентраций газовых смесей требуется высокая чувствительность термосопротивлений. В этом случае даже армировка из тонкого слоя стекла вносит значительные искажения в результаты измерений.

Полупроводниковые термосопротивления типов ММТ и КМТ являются смесью окислов меди и марганца и калия и марганца. Эти сопротивления имеют значительный отрицательный температурный коэффициент, равный 3—6% на 1° С, что обеспечивает чувствительность преобразователя с ними, в 8—10 раз бо́льшую чувствительности преобразователя с металлическими сопротивлениями. Полупроводниковые сопротивления отличаются малыми размерами и большим сопротивлением (до 3 000 *ком*); они могут работать в интервале температур от —70 до +180° С. Их недостатками являются малая стабильность характеристик и отсутствие взаимозаменяемости, так как сопротивления, выпускаемые промышленностью, отличаются по величине на 20% от номинала. Данные отечественных полупроводниковых термосопротивлений приведены в табл. 1.

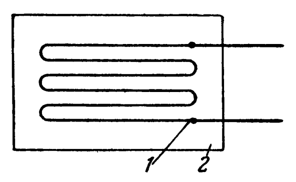


Рис. 6. Конструкция проволочного тензометра сопротивления.
1 — проволочная спираль; *2* — бумага (основа).

Проволочные тензометры сопротивления в основном предназначены для измерения различных деформаций и механических напряжений в испытываемых конструкциях. В последнее время они используются также для измерения экстремальных давлений в жидкостях. Их действие основано на изменении электрического сопротивления проволоки под действием упругих деформаций сжатия и растяжения.

Тензометры сопротивления представляют собой тонкую проволоку или фольгу диаметром или толщиной 0,02—0,05 *мм*, уложенную и приклеенную к полоске бумаги, как показано на рис. 6. Эта бумага в свою очередь приклеивается к поверхности исследуемого материала так, чтобы направление ожидаемой деформации совпало с длинной стороной петель проволоки или полос фольги. При этом под действием воспринимаемых деформаций длина и диаметр проволоки, а соответственно и ее сопротивление изменятся. Между относительным удлинением проволоки $\Delta l/l$ и относительным приращением ее омического сопротивления $\Delta R/R$ существует известная зависимость:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l},$$

где K — коэффициент, называемый тензочувствительностью преобразователя.

Приклеивание проволоки или фольги к бумаге и преобразователя к исследуемой детали осуществляется специальными клеями, наиболее распространенными из которых являются БФ-2, БФ-4, Р-88 (ЦАГИ), карбинольный и др. Тензометры сопротивлений обычно изготовляются из константановой проволоки и наклеиваются на тонкую (папиросную) бумагу. Тензочувствительность преобразователя из константана составляет 1,9—2,1.

Таблица 2

Основные формулы для расчета геометрической проводимости зазора между электродами

Формы поверхности	Расчетные формулы
	$G=\frac{ab}{\delta}$
	$G=\frac{ab}{\delta}$
	$G=\frac{bR(\alpha_0-\alpha)}{\delta}$
	$G=\frac{\pi b}{\ln\frac{l+\sqrt{l^2-d^2}}{d}}$
	$G=\frac{2\pi b}{\ln\frac{R}{r}}$
	$G=\frac{\pi R^2}{\delta\sin^2\alpha}$

Примечания: 1. b — размер, перпендикулярный плоскости чертежа.

2. $\delta \ll a\delta \ll b$.

На результаты измерений могут оказать искажающее влияние изменение сопротивления тензометра из-за неравенства коэффициентов температурного расширения материала проволоки, клея и исследуемой среды, а также паразитная термо-э. д. с., образующаяся в местах спая концов обмотки тензометра с подводящими проводами. Влияние этих факторов можно ослабить соответствующей подборкой материалов и включением тензодатчиков по дифференциальной компенсационной схеме.

Максимальная точность измерения деформаций с помощью тензометров сопротивлений составляет 1—2%. Этого вполне достаточно для большинства практических целей. Применяя специальную обработку проволоки и измерительные схемы повышенной чувствительности, можно добиться и большей точности

Емкостные преобразователи основаны на использовании зависимости емкости конденсатора от расстояния между его обкладками, площади обкладок и диэлектрической проницаемости среды между ними. Эта зависимость выражается следующим соотношением:

$$C = \varepsilon \frac{S}{\delta} = \varepsilon G,$$

где S — площадь пластин;

δ — расстояние между пластинами;

ε — диэлектрическая проницаемость;

G — геометрическая проводимость зазора между электродами (определяется по формулам, приведенным в табл. 2).

Измеряемая неэлектрическая величина может воздействовать на один или несколько параметров конденсатора: S, ε, δ и изменять их. Это дает возможность измерять и контролировать с помощью емкостных преобразователей такие физико-химические и механические величины, как влажность, однородность материала диэлектрика (по изменению ε), давление, силу, перемещение, толщину и однородность листового материала или покрытия последнего по изменению S и δ.

На рис. 7 изображены основные конструктивные схемы преобразователей, основанные на изменении площади обкладок (рис. 7,*а*), расстояния между обкладками (рис 7,*б*) и диэлектрической проницаемости (рис. 7,*в*). Приведены также графические зависимости изменения емкости для каждого конкретного типа преобразователя.

На рис. 8 приведена схема преобразователя для измерения влажности картона. В этом случае емкость конденсатора будет зависеть от значений ε и δ.

Выходные зажимы емкостных преобразователей подключаются к измерительным схемам. Питание измерительных схем для емкостных преобразователей осуществляется от источников напряжения высокой частоты. Связано это с тем, что емкостные преобразователи имеют небольшую емкость, а следовательно, высокое реактивное сопротивление. Так, например, при емкости преобразователя 100 *пф* реактивное сопротивление его на частоте питающего напряжения 50 *гц* будет около $3 \cdot 10^7$ *ом*, а на частоте 100 *кгц* $1{,}6 \cdot 10^2$ *ом*. Отсюда видно, что при работе с питающим напряжением частотой 50 *гц* сопротивление изоляции входной цепи должно быть не меньше 10^9 *ом*, а это без принятия соответствующих специальных мер

трудно достижимо Кроме того, для необходимой чувствительности преобразователя при низкой частоте питающего напряжения необходимо повышать его амплитуду, что практически нецелесообразно.

Погрешности емкостных преобразователей в основном определяются изменением геометрических размеров его деталей и диэлектрической проницаемости среды между обкладками при изменении температуры. Эти погрешности могут быть значительно компенсированы выбором материала с низким значением коэффициента температурного расширения (инвар), применением дифференциальных схем включения и соответствующей конструкции преобразователя. При работе с емкостными преобразователями надо особенно тщательно следить за тем, чтобы в пространство между обкладками не попадали мешающие примеси (вода, масло, пыль и другие вещества), так как они могут внести значительные искажения в результаты измерения. Поэтому там, где это возможно, конструкцию преобразователя надо выполнять герметичной.

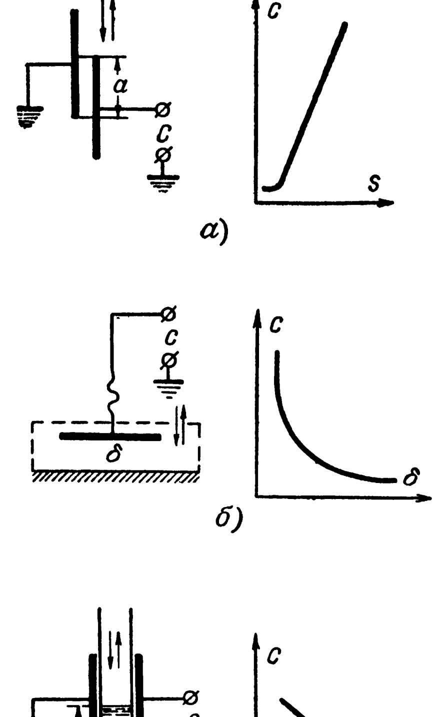


Рис. 7. Конструкция емкостных преобразователей.

Рис. 8. Емкостный толщиномер.
1 и 2 — обкладки конденсатора; 3 — контролируемый материал.

Индуктивные преобразователи по своим конструктивным особенностям делятся на две группы: низкочастотные и высокочастотные. Действие тех и других основано на изменении индуктивного сопротивления катушки преобразователя под влиянием преобразуемой величины. Это сопротивление изменяется пропорционально изменению индуктивности датчика и частоте питающего датчик напряжения.

В низкочастотных преобразователях индуктивность определяется особенностями конструкции преобразователя: типом и размерами сердечника, его магнитной проницаемостью, количеством витков и диаметром проволоки катушки, величиной зазора δ в замкнутой магнитной системе, положением сердечника в соленоидной катушке, концентрацией магнитного материала в наружной части магнитопровода. В используемых индуктивных преобразователях переменными

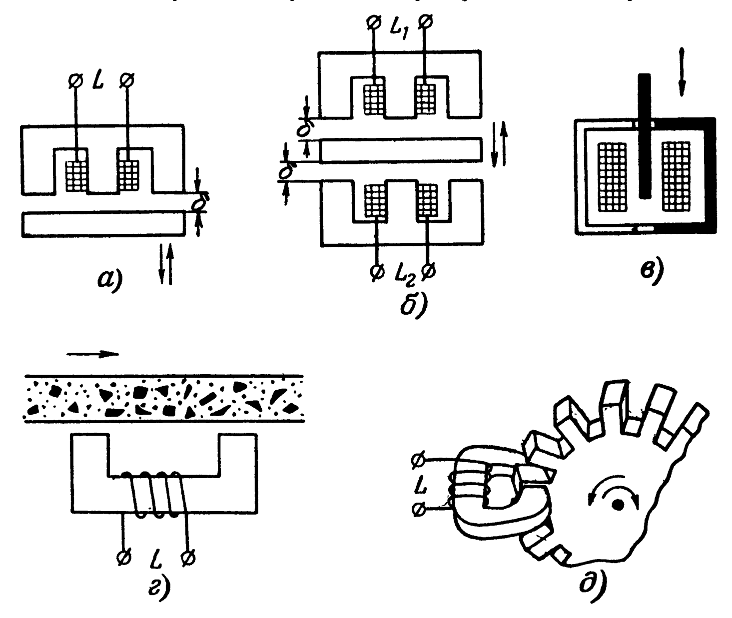


Рис. 9. Конструкции индуктивных низкочастотных преобразователей.

величинами, влияющими на суммарную индуктивность, обычно бывают величина зазора, положение сердечника в катушке и концентрация магнитных материалов в наружной части магнитопровода.

На рис. 9 представлено несколько схем индуктивных преобразователей. Преобразователи с переменным зазором (рис. 9,*а* и *б*) обычно используются для измерения перемещений в пределах 0,01—5 *мм*. Преобразователь, изображенный на рис. 9,*б*, является дифференциальным. Он имеет бо́льшую чувствительность и обеспечивает лучшую точность преобразования, чем обычный преобразователь с переменным зазором, показанный на рис. 9,*а*. Для измерения перемещений от 3 до 100 *мм* используются преобразователи соленоидного типа, которые могут быть также простыми (рис. 8,*в*) и дифференциальными. Наиболее часто они используются для регистрации уровней жидкости и механических перемещений деталей контролируемых объектов.

В преобразователе, изображенном на рис. 9,*г*, индуктивность изменяется при изменении однородности наружной части магнито-

провода, в качестве которой в данном случае используется пастообразная масса с вкрапленными в нее частицами материала с магнитными свойствами (например, концентрат железной руды). В зависимости от изменения концентрации таких вкрапленных частиц будет изменяться и индуктивное сопротивление преобразователей.

Преобразователь, представленный на рис. 9,*д* преобразует угловое перемещение стального диска с прорезями в периодическое изменение индуктивности. Частота изменения индуктивности определяется скоростью вращения диска и числом прорезей на его венце. Изменение индуктивности преобразуется измерительной схемой в переменное напряжение соответствующей частоты.

В целях повышения чувствительности индуктивных преобразователей следует применять для их сердечников сталь с высокой магнитной проницаемостью. Для частот 50—100 *гц* рекомендуется применять стали марок Э21 и Э31, Э330 и Э46; для частот 500—1 000 *гц*—высокочастотные марки сталей с толщиной листа порядка 0,2—0,3 *мм*, для частот 1—10 *кгц* — различные пермаллои (хромистый, молибденовый) и для частот 10—30 *кгц*—сердечники из карбонильного железа.

Для изготовления обоймы, стягивающей подвижную и неподвижную части магнитопровода, рекомендуется выбирать материал однородный по температурным свойствам и с минимальным температурным коэффициентом расширения. Отдельные пластинки магнитопровода при этом рекомендуется склеивать. Все это позволяет уменьшить температурные влияния на параметры датчика.

Действие в ы с о к о ч а с т о т н ы х индуктивных преобразователей основано на следующем. Если через катушку индуктивного преобразователя пропустить переменный ток и в созданное им магнитное поле поместить проводящий материал, то электрические параметры катушки (индуктивность и добротность) изменятся. Это связано с тем, что в проводящих материалах, находящихся в переменном магнитном поле, наводятся вихревые токи, на образование которых затрачивается часть энергии вызвавшего их поля. В свою очередь вихревые токи вызывают вторичное магнитное поле, направленное против первичного и тем самым ослабляющего его. Потери энергии на образование вихревых токов в проводящей среде равносильны уменьшению добротности индуктивного преобразователя, а ослабление первичного магнитного поля вторичным равносильно уменьшению его индуктивности. Потери энергии на образование вихревых токов в значительной степени зависят от частоты питающего катушку напряжения и амплитуды магнитной индукции.

Достоинством высокочастотных индуктивных преобразователей является то, что, изменяя в широких пределах напряженность и частоту магнитного поля можно значительно изменять чувствительность преобразователя, приспосабливать его к конкретным интересующим нас свойствам исследуемой среды.

Применение высокочастотных индуктивных преобразователей весьма разнообразно. На рис. 10 показаны основные, наиболее часто встречающиеся разновидности таких преобразователей. На рис. 10,*а* схематично изображена конструкция датчика для контроля диаметра *d* проволоки. С помощью такого датчика можно улавливать изменения диаметра проволоки на доли микрона. На рис. 10,*б* изображена конструкция датчика для определения влажности сыпучих материалов Действие такого датчика основано на том, что за счет

увлажнения увеличивается электрическая проводимость обычно слабо проводящего сыпучего материала. С помощью такого преобразователя можно определять влажность в образцах с точностью порядка 2—3%. На рис. 10,*в* приведена конструкция датчика для определения концентрации раствора, а на рис. 10,*г* дана конструкция датчика для определения содержания проводящих тел (рудного материала) в массе пустой породы. С помощью высокочастотного

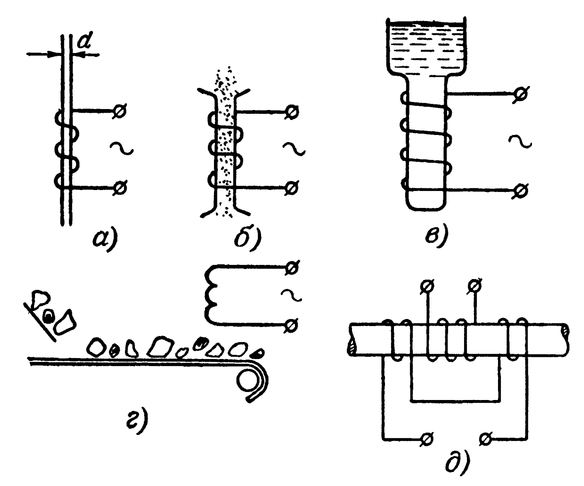


Рис. 10. Конструкции высокочастотных индуктивных преобразователей.

индуктивного датчика, показанного на рис. 10,*д*, можно определять наличие дефектов (трещин, раковин) в металлических отливках и трубах.

В целях увеличения точности измерений индуктивные преобразователи должны быть малочувствительными к влиянию внешних факторов (температуры, электрических и магнитных наводок). Поэтому при их конструировании особенно серьезное внимание должно быть уделено вопросам экранировки, выбору материала и типа конструкции. На высоких частотах на результаты преобразования оказывают влияние соединительные провода, их тип, взаимное расположение, экранировка. Желательно для соединений преобразователя с измерительной схемой использовать экранированные короткие провода. Питание индуктивных преобразователей и их измерительных схем должно производиться стабильным по частоте и амплитуде напряжением.

Индукционные преобразователи преобразуют измеряемую или контролируемую неэлектрическую величину в э. д. с. индукции. Они применяются в приборах для измерения вибраций, скорости вращения, ускорений и параметров колебаний. Различают два основных типа преобразователя: преобразователи, в которых э. д. с. индукции возникает за счет поступательного движения подвижной катушки относительно неподвижного магнита или наоборот (рис. 11,*а*), и

преобразователи, в которых э. д. с. индукции возникает за счет вращения подвижной катушки в кольцевом зазоре магнита (рис 11,*б*). В некоторых конструкциях преобразователей второго типа и катушка, и магнит остаются неподвижными, а вращается лишь сплошная стальная рамка (рис. 11,*в*) В процессе вращения катушки или рамки изменяется величина зазора в магнитопроводе,

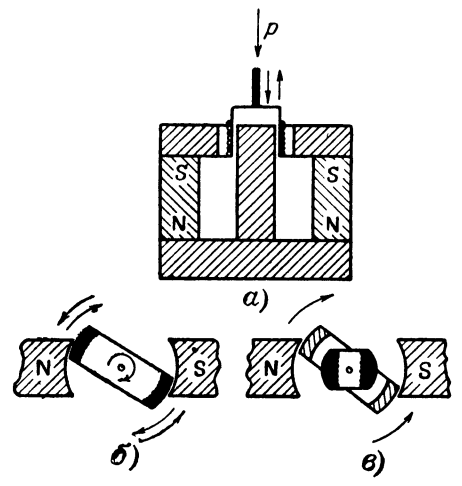


Рис 11. Индукционные преобразователи

а тем самым и величина наводимой э д. с. Чувствительность таких преобразователей при постоянном потоке индукции определяется в основном количеством витков катушки и длиной активной части витка.

Индукционные преобразователи обладают высокой чувствительностью к измеряемым параметрам Они являются разновидностью индуктивных преобразователей, поэтому при их конструировании необходимо учитывать все соображения, которые относятся к конструированию последних. Подвижные элементы индукционных преобразователей должны иметь малую инерционность, с тем чтобы свести к минимуму динамические ошибки при исследовании быстро изменяющихся процессов.

Термоэлектрические преобразователи представляют собой устройства, преобразующие разность температур между двумя точками в э. д. с. Конструктивно они представляют собой термопару, т. е. два проводника из разных материалов, спаянных в двух точках.

Как известно из электротехники, если составить электрическую цепь, как показано на рис. 12, в которой проводник *1* выполнен из одного материала, а проводник *2*—из другого, и поместить точки спая *А* и *Б* в разные температурные условия, то в цепи потечет ток. Возникшая при этом э. д с. будет тем больше, чем больше разность температур между точками *А* и *Б*.

Значительная погрешность при измерении температуры исследуемого объекта с помощью термопары вносится за счет непостоянства

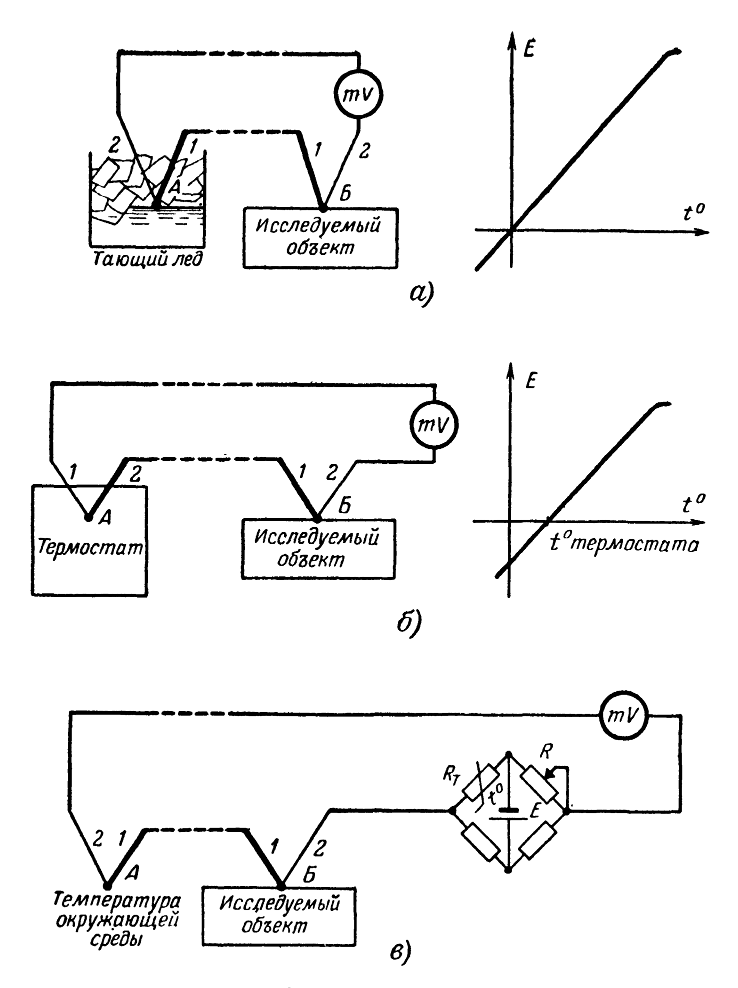


Рис. 12. Схемы включения термопар.

температуры другого—свободного конца (образцового спая) термопары. Чтобы уменьшить эту погрешность, температуру свободного спая стабилизируют, помещая его в таящий лед (рис. 12,*а*) или термостат (рис. 12,*б*).

Для уменьшения указанной погрешности используются и другие схемы, например мостовая с компенсирующим термосопротивлением (рис. 12,*в*). Эта схема работает следующим образом. В цепь термопары и измерительного прибора включен мост, одним из плеч которого является термосопротивление R_T, помещаемое в те же темпе-

ратурные условия, что и образцовый спай. Мост балансируется при начальной температуре работы термопары с помощью переменного сопротивления R. Затем при изменении температуры в процессе измерения изменяют величину сопротивления R, изменяя тем самым распределение тока в плечах моста и создавая компенсационную противо-э. д. с. в измерительной цепи. Недостаток такого устройства заключается в необходимости дополнительного стабилизированного источника питания.

Общими требованиями, предъявляемыми к термопарам и материалам при их изготовлении, являются следующие: 1) механическая и химическая устойчивость при высоких температурах; 2) однозначная зависимость термо-э. д. с. от температуры; 3) хорошая термо- и электропроводность.

Диаметр провода для изготовления термопар выбирается в пределах 0,1—0,6 *мм* в зависимости от их назначения. Инерционность термопар в защитной оболочке обычно колеблется (в зависимости от конструкции и материала) в пределах 0,5—10 *мин*. Иногда при специальных, высокочастотных исследованиях, чтобы уменьшить инерционность термопар, применяют их без защитной оболочки.

В табл. 3 приведены основные данные стандартных, наиболее часто используемых термопар.

Таблица 3

Основные данные стандартных термопар

Термопара	Термо-э. д. с. при 100° С, *мв*	Верхний предел температуры, °С	
		при длительном нагреве	при кратковременном нагреве
Платина — платинородий	0,64	1 300	1 750
Хромель — алюмель	4,10	900	1 300
Хромель — копель	6,95	600	800
Сталь — копель	5,75	600	800
Медь — копель	4,75	350	500
Сталь — константан	5,15	600	800
Медь — константан	4,15	350	500

Пьезоэлектрические преобразователи работают на принципе пьезоэффекта, заключающегося в том, что при сжатии или растяжении пластинок, изготовленных из определенных материалов, на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе. Пьезоэффект является обратимым. Это значит, что при помещении пластинки в электрическое поле геометрические размеры ее изменяются тем больше, чем под бо́льшим электрическим потенциалом находятся грани пьезопластинки.

В настоящее время известно большое количество материалов, обладающих пьезоэлектрическими свойствами, но в качестве пьезоэлектрических преобразователей используются в основном кристаллы кварца, сегнетовой соли, фосфата аммония и керамика титаната бария. Наибольшим пьезомодулем из перечисленных выше преобразователей обладают кристаллы сегнетовой соли ($d=7\,000 \cdot 10^{-8}$ $см^{1} \cdot г^{-1/2} \cdot сек$) и керамика титаната бария ($d=750 \cdot 10^{-8}$ $см^{1/2} \cdot г^{-1/2} \cdot сек$).

Пьезоэлектрические преобразователи обычно используются для преобразования усилий и вибраций, а также для возбуждения и и приема акустических колебаний ультразвуковой частоты. Важным параметром пьезопластинки является ее собственная частота

$$f=\frac{K}{d},$$

где d — толщина пластинки, *мм*;

K — коэффициент пропорциональности (для кварца
— 2 280 *кгц · мм*, для сегнетовой соли
— 1 540 *кгц · мм*, для титаната бария
— 2 200 *кгц · мм*).

Так как трудно вырастить кристаллы большой величины (рис. 13,*а*), для получения преобразователей, рассчитанных на более низкие частоты, делают пакеты из отдельных пластинок (рис. 13,*б*), склеивая их через металлизированное покрытие. Как правило, пакеты из пьезопластинок обладают большей прочностью, чем отдельные пьезоэлементы. Электродные обкладки изготавливаются способом металлизации поверхности кристалла коллоидным серебром.

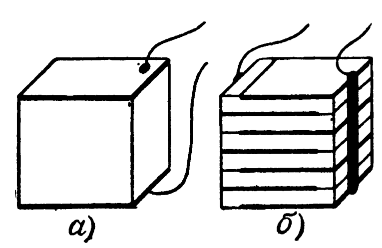


Рис. 13. Конструкции пьезоэлектрических преобразователей.
а — пьезоэлемент; *б* — пьезопакет.

Акустические колебания распространяются по законам геометрической оптики, что позволяет использовать ультразвук для определения дефектов в различных материалах (металлы, резина, пластики и др.). На рис. 14 изображены схемы испытательных установок, в которых используются пьезокристаллические преобразователи.

На рис. 14,*а* показана схема устройства для «просвечивания» исследуемого образца, чтобы определить его механические характеристики. Исследование проводится следующим образом. Пьезодатчик *1* излучает на испытываемый образец *2* колебания ультразвуковой частоты. Приемный датчик *3* принимает эти колебания через время, равное t. Скорость распространения ультразвуковых колебаний прямо пропорциональна длине l образца исследуемой среды и обратно пропорциональна времени t. По известному значению скорости и определяются интересующие нас параметры исследуемой среды.

На рис. 14,*б* и *в* соответственно показаны схемы установок для определения положения дефекта по отраженному от него сигналу

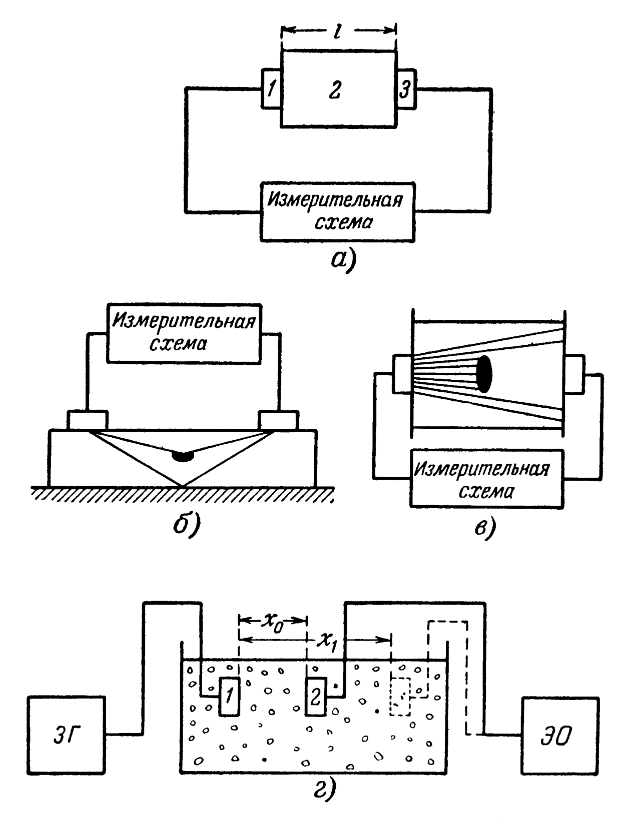


Рис. 14. Схемы применения ультразвука для дефектоскопии и контроля.

и для определения положения дефекта теневым методом по наименьшей амплитуде прошедшего через образец сигнала.

На рис. 14,г приведена схема для определения коэффициента поглощения в плывуне. В этой установке неподвижный излучатель *1* непрерывно возбуждается на резонансной частоте напряжением от звукового генератора *ЗГ*. Приемный датчик последовательно перемещается в плывуне на расстояния x_0 и x_1. Интенсивность принятого излучения измеряется с помощью электронного осциллографа *ЭО*, после чего коэффициент поглощения подсчитывается по формуле

$$\alpha = \frac{1}{x_1 - x_0} \ln \frac{A_0}{A_1},$$

где A_0 и A_1 — амплитуды сигналов, соответствующие расстояниям x_0 и x_1.

Пьезоэлектрические датчики широко используются для контроля самых разнообразных сред (жидких, твердых и газообразных). С точки зрения максимальной передачи акустической энергии в исследуемую среду большое значение имеет акустический контакт между излучателем, приемником и исследуемой средой (особенно при определении коэффициента поглощения). В настоящее время раз-

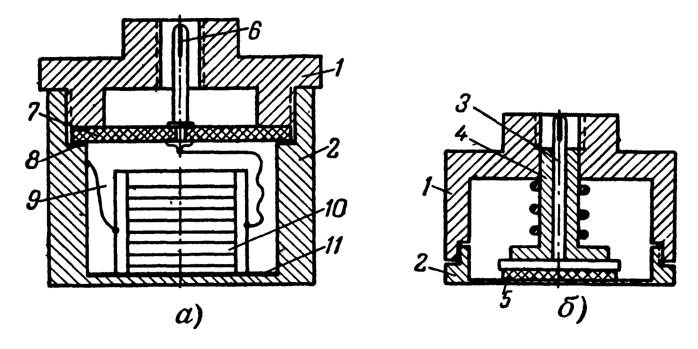


Рис. 15. Конструкции армировки пьезопреобразователей из сегнетовой соли (*а*) и титаната бария (*б*).

1 и *2* — детали корпуса из латуни; *3* — электрод из латуни; *4* — изолятор из тефлона; *5* — пластина из керамики титаната бария; *6* — латунный контакт; *7* — изоляционная прокладка из текстолита; *8* — уплотнительная пластина из прессшпана; *9* — пространство, заполненное трансформаторным маслом; *10* — пакет из сегнетовой соли; *11* — изоляционная прокладка из гетинакса.

работано много вариантов конструкций держателей пьезодатчиков. Известны конструкции держателей с открытой пьезопластинкой. Но, несмотря на некоторые преимущества (отсутствие потерь акустической энергии на промежуточных слоях), эти датчики не получили широкого распространения, так как кристаллы сегнетовой соли вообще не могут применяться в открытом виде (они гигроскопичны и при насыщении водой теряют механическую и электрическую прочность и разрушаются), а керамика титана бария при непосредственном контакте с исследуемой средой быстро изнашивается.

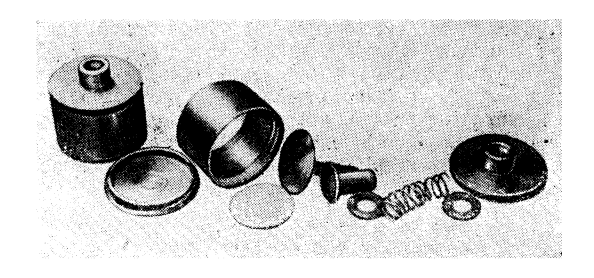


Рис. 16. Внешний вид и составные детали армировки преобразователя из керамики титаната бария.

Обычно применяют закрытые конструкции кристаллодержателей, обладающие тем преимуществом, что они сохраняют прочность пьезоэлементов, а также при работе пьезоэлементов в качестве приемных датчиков служат электромагнитным и электростатическим экраном, защищающим от влияния внешних полей вход измерительного устройства.

На рис. 15 изображены разработанные автором конструкции держателей для пьезодатчиков из сегнетовой соли и керамики титаната бария. Эти держатели испытывались при работе с излучателями разных размеров, собственная частота которых изменялась в пределах 20—250 *кгц*, и показали хорошие эксплуатационные данные. Внешний вид преобразователя из керамики титаната бария представлен на рис. 16.

3. Основные измерительные схемы и особенности их работы

Измерительные схемы предназначены для преобразования сигналов, поступивших с выхода датчиков, в соответствующие величины тока и напряжения, достаточные для регистрации их обычными электроизмерительными приборами. В автоматических измерителях и системах автоматического регулирования выходные сигналы измерительных схем используются для управления регулирующими и исполнительными устройствами. Из большого разнообразия измерительных схем наиболее широко используются мостовые и компенсационные схемы.

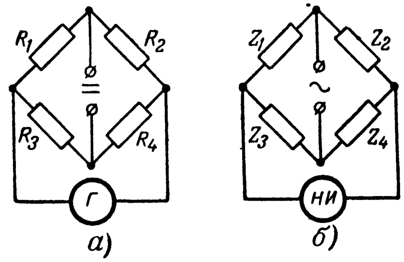


Рис. 17. Схемы измерительных мостов. *а* — на постоянном токе; *б* — на переменном токе.

Мостовые схемы применяются преимущественно совместно с преобразователями, работа которых основана на изменении величины активного или реактивного сопротивления (тензометры, термосопротивления, индуктивные и емкостные преобразователи). Широкое применение мостовых схем объясняется их высокой чувствительностью по сравнению со схемами прямого отсчета. Кроме того, они позволяют сравнительно просто производить компенсацию погрешностей измерений, возникающих из-за нестабильности температуры и питающих напряжений. Мостовые измерительные схемы могут быть как на постоянном, так и на переменном токе.

На рис. 17,*а* изображена схема наиболее распространенного измерительного моста на постоянном токе. Используются два основных вида этой схемы: равновесный мост, в котором осуществляется нулевой метод измерений, и неравновесный мост, реализующий метод непосредственного отсчета.

Условием равновесия мостовой схемы, при котором ток через индикаторный прибор (гальванометр *Г*), включенный в измеритель-

ную диагональ моста, равен нулю, является выполнение следующего соотношения:

$$R_1R_4=R_2R_3.$$

Вместо одного из плеч моста (например, R_1) включается преобразователь неэлектрической величины. В противоположное плечо моста (например, R_4) включается переменное сопротивление (реохорд). Подбором величины этого сопротивления мост балансируется. Изменение сопротивления преобразователя под воздействием неэлектрической величины может быть определено по соответствующему изменению значения компенсирующего сопротивления

В неравновесном мосте изменение сопротивления преобразователя вызовет разбаланс моста, в результате через измерительный прибор потечет ток. Величина этого тока характеризует изменение сопротивления преобразователя под воздействием неэлектрической величины.

Чувствительность равновесного моста значительно более высокая, чем неравновесного. Она зависит от соотношения сопротивлений плеч моста и величины нагрузки (сопротивление индикаторного прибора $R_Г$) моста.

В том случае, если выполняется неравенство

$$\frac{R_1R_3}{R_1+R_3}+\frac{R_2R_4}{R_2+R_4}\ll R_Г,$$

такой мост называют ненагруженным (пассивным). Его чувствительность будет наибольшей при отношении $R_1/R_3\approx0{,}2$.

Чувствительность нагруженного моста определяется чувствительностью индикаторного прибора и величиной его сопротивления. Чем меньше сопротивление индикаторного прибора (гальванометра), тем выше чувствительность нагруженного неравновесного моста.

Схема моста на переменном токе показана на рис. 17,*б*. Все основные соотношения для этой схемы остаются такими же, как и для моста на постоянном токе, при условии замены активных сопротивлений плеч моста полными комплексными сопротивлениями. В качестве комплексных сопротивлений в такой схеме могут использоваться либо индуктивности, либо емкости, т. е. сопротивления в ней должны иметь одинаковый фазосдвигающий характер.

Условие баланса моста на переменном токе определяется соотношениями

$$|Z_1||Z_4|=|Z_2||Z_3|;$$

$$\varphi_1+\varphi_4=\varphi_2+\varphi_3,$$

где $|Z|$ — полное сопротивление плеча;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ — фазовые сдвиги соответствующих сопротивлений.

При балансировке моста переменного тока необходимо, таким образом, выполнить два условия: 1) подобрать модули полных сопротивлений плеч моста и 2) компенсировать в них фазовые сдвиги.

К конструкциям измерительных мостов, работающих на переменном токе, предъявляются особенно жесткие требования. Дело в том,

что с повышением частоты питающего мост напряжения начинают оказывать влияние на показания нуль-индикатора *НИ* паразитные емкости и индуктивности монтажа соединительных проводов, а также наводки от внешних высокочастотных полей Поэтому при монтаже с применением экранированных проводов выбором точек заземлений и экранировкой элементов моста стараются свести на нет влияние мешающих факторов.

Компенсационные схемы работают на принципе компенсационного метода измерений, заключающегося в сравнении измеряемого напряжения с падением напряжения на образцовом сопротивлении при прохождении тока от источника с известным напряжением. Этот метод является одним из наиболее точных методов измерения, поэтому он нашел широкое применение в практике как лабораторных, так и производственных исследований.

Схема простейшего компенсатора на постоянном токе изображена на рис. 18,*а*. В этой схеме измеряемое напряжение E_x сравнивается с падением напряжения на сопротивлении R при прохождении через него тока от источника E. Сопротивление $R_к$ служит для подбора величины начального тока. Так как измеряемое напряжение включено с обратным знаком по отношению к источнику E, индикация производится с помощью нуль-гальванометра $Г$ по моменту исчезновения тока в измерительной цепи.

Практическая схема такого компенсатора имеет более сложный вид, так как в ней сопротивление R выполнено в виде реохорда с подключаемыми последовательно с ним образцовыми сопротивлениями (магазином сопротивлений). Цепь гальванометра снабжена защитным устройством, предохраняющим рамку гальванометра от возможных перегрузок. Кроме того, имеются еще дополнительные цепи для компенсации температурных и других погрешностей.

На рис. 18,*б* показана блок-схема компенсатора на переменном токе конструкции автора. Эта схема более сложна, чем схема компенсатора на постоянном токе, так как при работе на переменном токе приходится компенсировать не только амплитуду, но и фазу измеряемого напряжения. Работает она следующим образом. Измеряемое напряжение $U_{изм}$ подается через симметричный делитель *СД* на вход амплитудного сумматора *АС* Образцовое (опорное) напряжение U_0 подается на фазосдвигающий каскад *ФК*, затем на амплитудный делитель *АД* и, наконец, на второй вход амплитудного сумматора. Оба напряжения складываются с противоположными знаками на общей нагрузке сумматора, и сигнал разбаланса подается через избирательный усилитель *ИУ* на нуль-индикатор *НИ* и телефонную трубку $Т_л$. Индикация равенства опорного и измеряемого напряжений происходит по нулевому показанию нуль-индикатора (диодного вольтметра) и исчезновению сигнала в телефонной трубке.

Принципиальная схема такого прибора представлена на рис. 19. В качестве фазосдвигающего устройства в ней использован фазовращающий трансформатор $Тр_1$ типа ВТМ-6, при вращении ротора которого (обмотка *в—в*) фаза трансформируемого в его обмотке напряжения плавно изменяется в пределах 0—360° при сохранении постоянной амплитуды напряжения. Параметры плеч фазосдвигающего моста R_1, R_2, C_1 и C_2 выбираются такими, чтобы в его диагоналях обеспечивался сдвиг фаз на 90°. Указанные на схеме значения деталей моста подобраны для частоты питающего напряжения 500 *гц*.

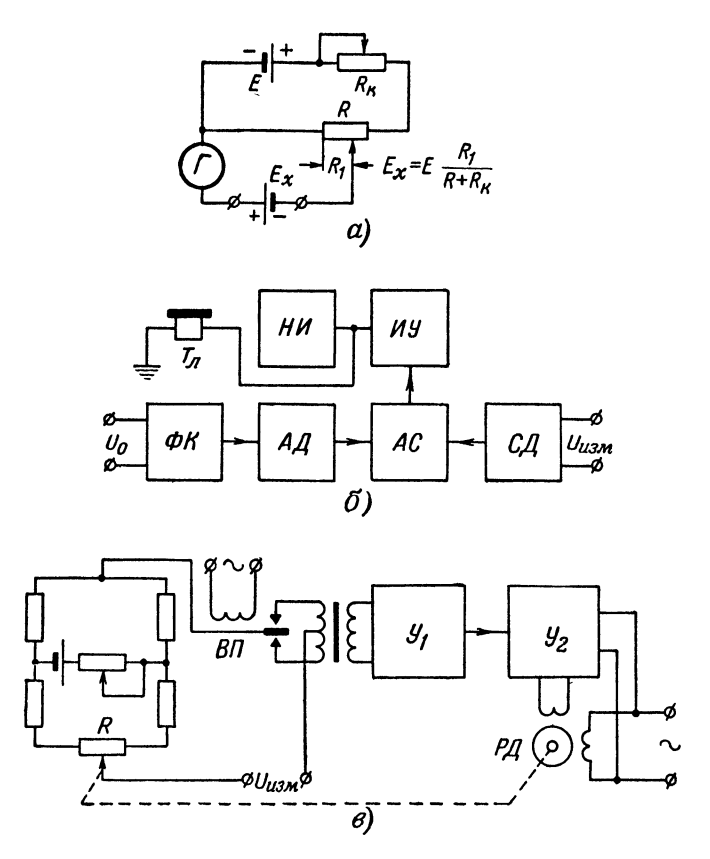


Рис. 18. Основные типы компенсационных схем.

С трансформатора $Тр_1$ сигнал постоянной амплитуды и фазы, сдвинутой на необходимый угол, поступает на линейный амплитудный делитель R_7—R_{15}, собранный по обычной схеме. С амплитудного делителя сигнал подается через согласующий трансформатор $Тр_2$ на амплитудный сумматор. Измеряемый сигнал через симметричный делитель R_{22}—R_{31} и согласующий трансформатор $Тр_3$ также подается на сумматор. Сигнал разбаланса снимается с общей нагрузки сумматора R_{33} и поступает на вход избирательного усилителя.

Избирательный усилитель на частоте 500 *гц* собран на транзисторах типа П1Д (вместо них можно применять транзисторы типов П13, П14, П15) и имеет общий коэффициент усиления порядка 10 000. Поскольку в данном варианте прибора применена компенсационная схема измерения, к усилителю не предъявляется особых требований в отношении обеспечения стабильности его параметров

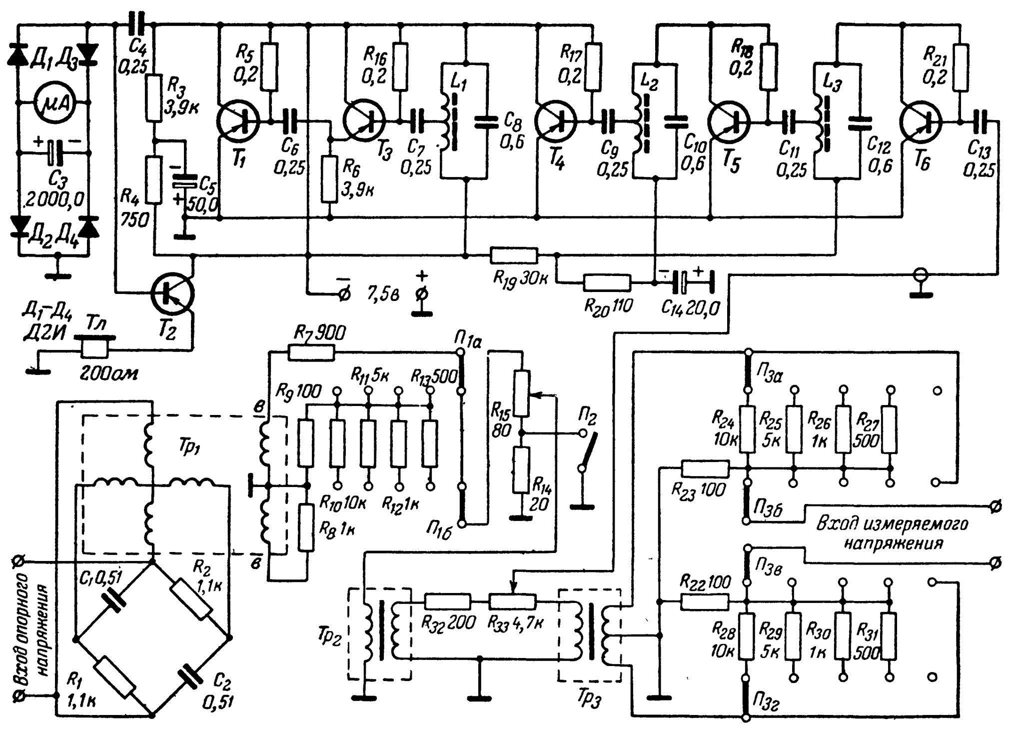


Рис. 19. Схема амплитудно-фазового компенсатора переменного тока.

во времени. Единственным требованием к выбору транзисторов является малый коэффициент собственных шумов.

Сигнал усилителя подается на нуль-индикатор, собранный по мостовой схеме, и эмиттерный повторитель, нагрузкой которого служит телефонная трубка. Как указывалось выше, индикация равенства амплитуд и фаз производится по исчезновению сигнала разбаланса в телефонной трубке и нулевому отсчету нуль-индикатора (микроамперметра μA).

Конструктивно прибор оформлен в одном компактном блоке. На лицевую панель его выведены ручки фазовращающего трансформатора Tp_1, линейного амплитудного делителя ($П_1$ — грубо и R_{15} — точно) и делителя измеряемого напряжения $П_3$. Для возможности сравнения малых амплитуд в схеме предусмотрен переключатель (тумблер) $П_2$, который замыкает накоротко сопротивление R_{14} и дает возможность производить сравнение амплитуд от нулевого уровня. Точность отсчета угла фазового сдвига составляет 0,5°, а точность отсчета амплитуды по шкале прибора равна 1%.

Этот прибор в комплекте с индукционными датчиками испытывался на одном из месторождений сульфидных руд при проведении работ по определению положения рудных тел индукционным амплитудно-фазовым методом и показал хорошие эксплуатационные данные.

Помимо приборов с ручной компенсацией измеряемой величины, в практике используются так называемые автокомпенсаторы, т. е. устройства, в которых компенсация измеряемой величины происходит автоматически с помощью потенциометров, насаженных на ось реверсивного двигателя, управление которым осуществляется сигналом разбаланса. По принципу автокомпенсаторов устроены такие приборы, как электронные самописцы типов ЭПП-09, ПСР и др.

На рис. 18,*в* изображена схема автокомпенсатора, которая работает следующим образом. Измеряемое напряжение $U_{изм}$ сравнивается с напряжением, снимаемым с сопротивления R. Напряжение разбаланса усиливается усилителем $У_1$ и подается на каскад фазочувствительного усилителя-выпрямителя $У_2$, нагрузкой которого служит одна из обмоток реверсивного двигателя. В зависимости от знака, поданного на двигатель сигнала разбаланса, ротор двигателя вращается в ту или другую сторону На его оси укреплены подвижная часть потенциометра R и перо самописца. Двигатель вращается до тех пор, пока сигнал разбаланса не станет равен нулю. Так как шкала самописца проградуирована в соответствующих измеряемых величинах, по мгновенным положениям стрелки самописца можно определять значения измеряемой величины во времени.

Усилители предназначены для повышения чувствительности электрических измерителей неэлектрических величин. По своему значению и конструктивным особенностям они делятся на две большие группы: усилители напряжения и усилители мощности. Первые работают обычно на высокоомную нагрузку и усиливают входной сигнал до необходимой амплитуды с возможно меньшим искажением его формы, а вторые, работающие на низкоомную нагрузку, должны обеспечить на выходе сигнал достаточной для срабатывания исполнительного устройства мощности (форма сигнала в них, как правило, значения не имеет).

В настоящее время в практике применяются электронные усилители, усилители на транзисторах, магнитные и релейные усили-

тели. Применение тех или иных типов усилителей обусловлено их конкретным назначением. Наиболее универсальными с точки зрения их применения являются электронные усилители и усилители на транзисторах. Магнитные и релейные усилители больше используются в специальных устройствах автоматического управления.

В технике измерения неэлектрических величин широко применяются усилители постоянного тока. Это объясняется тем, что многие

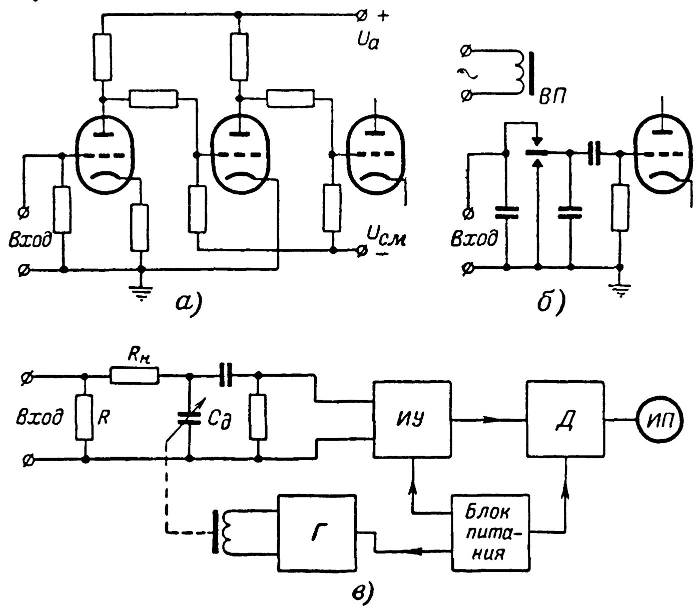


Рис. 20. Схемы усилителей постоянного тока

измеряемые величины изменяются во времени весьма медленно. Выходные сигналы преобразователей в таких случаях представляют собой также медленно изменяющиеся электрические величины, которые не могут быть усилены обычными электронными усилителями переменного тока.

Усилители постоянного тока предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени. Они делятся на две группы: усилители с преобразованием входного сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока с последующим усилением обычным электронным усилителем и обратным преобразованием (переменного в постоянный) на выходе усилителя и усилители с гальванической связью между каскадами (рис. 20,*а*).

Усилители с гальванической связью между каскадами имеют ограниченное применение, так как они сложны по устройству, нестабильны в работе и требуют применения электрометрических и специально отобранных ламп. Большее распространение получили усилители постоянного тока с преобразованием напряжения. В ка-

честве преобразователя обычно используют вибропреобразователи *ВП* (рис. 20,*б*) и динамические конденсаторы $C_д$ (рис. 20,*в*).

Недостатком вибропреобразователей является возникновение контактной э. д. с, которая не позволяет измерять токи ниже 10^{-14} *а*. Кроме того, вибропреобразователи требуют периодической регулировки. Динамические конденсаторы лишены этих недостатков. Они позволяют преобразовывать токи до 10^{-17} *а*, настройка их производится 1 раз и они обладают практически неограниченным сроком службы.

Усилители с преобразованием работают следующим образом (рис. 20,*в*). Измеряемый ток пропускается через большое сопротивление *R*, на котором при этом образуется падение напряжения. Это напряжение через нагрузочное сопротивление $R_н$ подается на динамический конденсатор $C_д$, емкость которого изменяется с частотой преобразования. На пластинах конденсатора $C_д$ при этом возникает переменное напряжение, которое усиливается обычным избирательным усилителем *ИУ* переменного тока, настроенным на резонансную частоту, равную частоте преобразования.

Управляющая обмотка динамического конденсатора питается от отдельного генератора *Г* или же от сети 50 *гц*. Частота преобразования равна частоте напряжения, питающего управляющую обмотку.

С выхода избирательного усилителя *ИУ* сигнал поступает на детектор *Д*, а затем в зависимости от назначения усилителя — на измерительный прибор *ИП* или через усилитель мощности на исполнительный двигатель.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

4. Электронный вольтметр постоянного тока

В. П. Давыдов, В. Е. Казакевич

Электронный вольтметр постоянного тока предназначен для измерения разности потенциалов между электродами в электрохимический ячейках, а также для измерения напряжений в различных (в основном высокоомных) цепях постоянного тока. Он имеет следующие параметры: диапазоны измеряемых напряжений 0,025—9 *в* при входном сопротивлении 10^{11} *ом* и 0,25—90 *в* при входном сопротивлении $3 \cdot 10^8$ *ом*; класс точности не ниже 1,5% на всех диапазонах; дрейф нуля не больше 1 *мв* за 8 *ч* непрерывной работы. Прибор питается от сети переменного тока (частота 50 *гц*, напряжение 220 *в*).

На рис. 21 изображена блок-схема электронного вольтметра, представляющего собой усилитель постоянного тока с двойным преобразованием измеряемого напряжения и стопроцентной отрицательной обратной связью по постоянному току. Прибор работает следующим образом. Измеряемое напряжение $U_{вх}$ поступает на вход прибора и затем на контакт *1* вибропреобразователя *ВП*, работающего с частотой 50 *гц*. Через этот контакт конденсатор *C* периодически заряжается и разряжается, вследствие чего на сопротивлении R_1 образуется переменное напряжение, которое усиливается усили-

телем переменного тока и детектируется фазовым детектором. Напряжение с нагрузки фазового детектора через блок коммутации подается на контакт *2* вибропреобразователя как напряжение отрицательной обратной связи. Так как оно находится в обратной полярности с входным напряжением, на вход усилителя все время поступает разность входного напряжения и напряжения отрицатель-

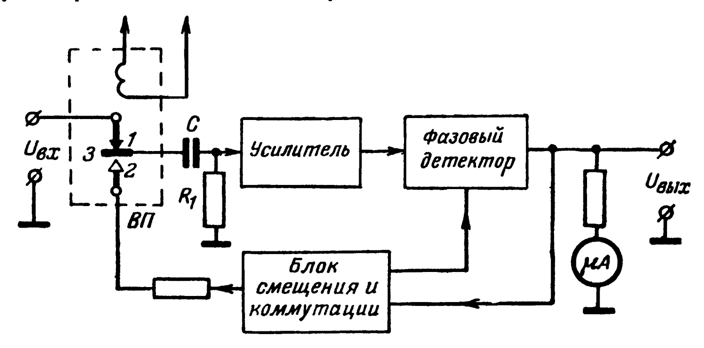


Рис. 21. Блок-схема лампового вольтметра постоянного тока.

ной обратной связи. Напряжение постоянного тока на выходе фазового детектора измеряется микроамперметром μA.

Выпрямленное напряжение на выходе детектора

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{\frac{1}{K} + 1},$$

где K — коэффициент усиления преобразователя по постоянному току без обратной связи.

При большом коэффициенте усиления, т. е. при $1/K \ll 1$, напряжение на выходе преобразователя практически мало отличается от измеряемого (входного). Таким образом, сравнительно большой коэффициент усиления усилителя определяет высокую стабильность работы вольтметра.

Входное сопротивление вольтметра определяется не только входным сопротивлением усилителя переменного тока, которое в этом случае достаточно велико, но и наличием обратной связи, увеличивающей его еще в K раз (K — коэффициент усиления усилителя). Блок смещения шкал предназначен для дополнительной компенсации части входного сигнала и позволяет осуществить подавление нуля, т. е. производить отсчет на шкалах прибора не от нуля, а от любой заданной величины, увеличивая тем самым абсолютную точность прибора.

На рис. 22 приведена принципиальная схема прибора. Основными элементами ее являются: преобразователь, усилитель переменного тока, фазовый детектор, схема коммутации и смещения шкал, блок питания.

В качестве преобразователя используется вибропреобразователь *ВП* типа ВПМ-2Р, но могут быть использованы вибропреобразова-

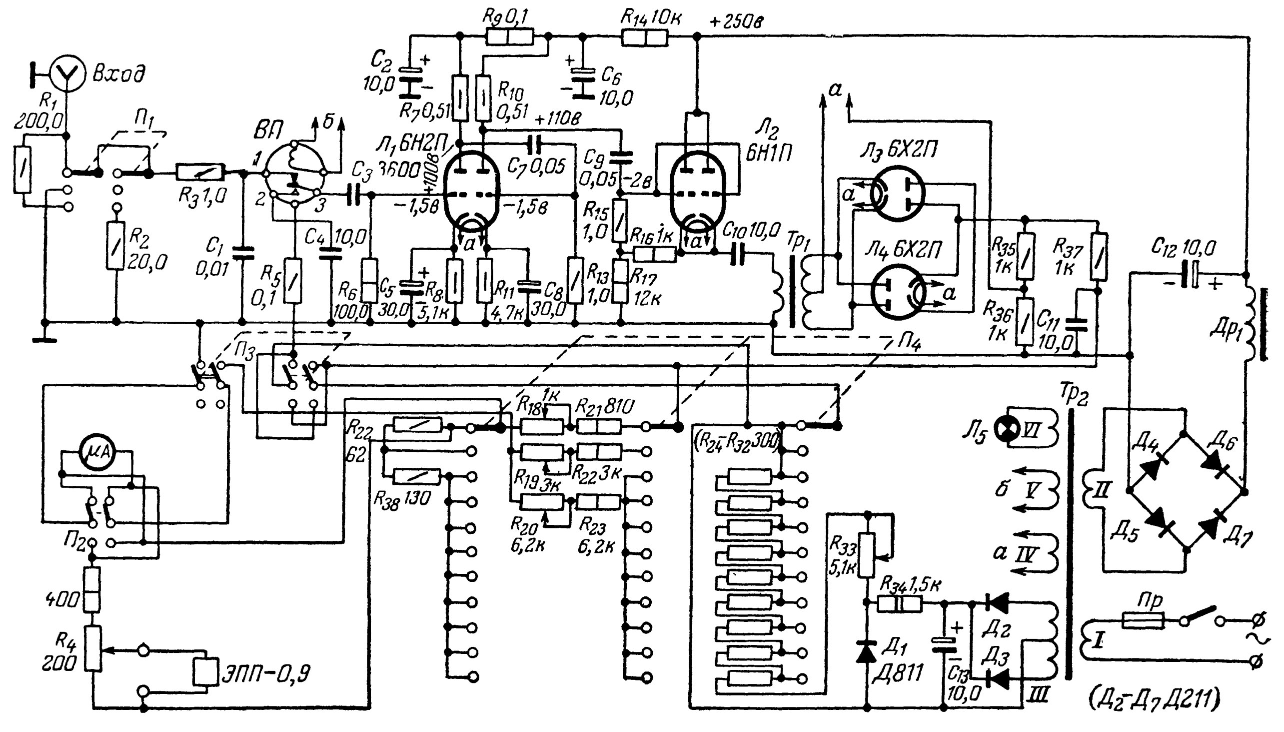


Рис. 22. Принципиальная схема лампового вольтметра постоянного тока.

тели ВП-34 и ВПВ-178, а также поляризационные реле с небольшой переделкой, о которой будет сказано ниже.

Усиление переменного напряжения осуществляется двухкаскадным усилителем напряжения на лампе $Л_1$ и каскадом усиления мощности, который собран на лампе $Л_2$ по схеме катодного повторителя. Общий коэффициент усиления усилителя равен 2 000.

Напряжение с выхода усилителя подается на первичную обмотку трансформатора $Тр_1$ фазового детектора. Последний для улучшения линейности устройства собран по схеме кольцевого балансного модулятора на лампах $Л_3$ и $Л_4$. Эта схема обеспечивает небольшой уровень пульсации на сглаживающем фильтре. Режим работы модулятора выбран таким, при котором напряжение синхронизации намного превышает напряжение с выхода усилителя, поэтому процесс отпирания и запирания диодов происходит только под действием синхронизирующего напряжения. С выхода детектора через делитель, образованный сопротивлением R_{37} и — в зависимости от поддиапазона — сопротивлениями R_{18}—R_{23}, а также сопротивлением измерительного прибора, напряжение постоянного тока подается через цепь R_5C_4 на неподвижный контакт *2* вибропреобразователя как напряжение отрицательной обратной связи.

Чтобы чувствительность прибора оставалась постоянной на всех шкалах, начиная с четвертого диапазона, в цепь обратной связи вводят напряжение подпоры, снимаемое с делителя R_{24}—R_{32}. Это напряжение, одинаковое по полярности с напряжением обратной связи, поступает на делитель R_{24}—R_{32} с обмотки *III* трансформатора $Тр_2$ после выпрямления его двухтактным выпрямителем (диоды $Д_2$ и $Д_3$) и стабилизации кремниевым стабилитроном $Д_1$.

Выходное напряжение измеряется прибором, в качестве которого может быть использован микроамперметр типа М24 на 100—300 *мка* или самописец типа ЭПП-09. Сопротивления R_{18}—R_{23} предназначены для подгонки шкал измерительного прибора. Сопротивление R_{33} служит для того, чтобы подогнать падение напряжения на каждом из сопротивлений делителя R_{24}—R_{32} до величины 1 *в*. Согласование выхода вольтметра с входом ЭПП-09 осуществляется сопротивлениями R_4.

Для питания анодных цепей усилителя применен двухполупериодный выпрямитель, собранный по мостовой схеме на диодах $Д_4$—$Д_7$. Для снижения пульсаций выпрямленного напряжения применен фильтр, состоящий из дросселя $Др_1$ и конденсатора C_{11}. Для устранения самовозбуждения усилителя использованы развязывающие цепи R_9C_2 и $R_{14}C_6$. Фильтрующее звено R_3C_1 защищает вход вольтметра от фона переменного тока.

Конструктивно прибор выполнен в виде блока размерами 300×230×200 *мм*. Смонтирован он на горизонтальном шасси и вертикальной лицевой панели. На лицевой панели (рис. 23) размещены микроамперметр, ручки управления, сигнальная лампочка $Л_5$ и соединительные гнезда.

На горизонтальном шасси расположены лампы $Л_1$—$Л_4$, трансформаторы $Тр_1$ и $Тр_2$, вибропреобразователь *ВП*, конденсаторы C_2, C_5, C_6, C_8, C_{11}, C_{13} (электролитические) и C_4, C_{10}, C_{12} (типа КБГО). На задней стенке шасси помещены сопротивления R_{18}—R_{20}. Остальные детали расположены в подвале шасси.

Монтаж прибора и в особенности усилителя должен быть выполнен тщательно. Детали усилителя располагаются так, чтобы пол-

ностью исключить возможность возникновения паразитных связей. Для этого детали сеточной цепи надо монтировать непосредственно на лепестках ламповых панелек, располагая их так, чтобы соединительные концы были по возможности короче.

Трансформатор фазового детектора $Тр_1$ собран на сердечнике из пластин трансформаторной стали Ш-20 (площадь поперечного сечения 3,2 *см*^{2}). Первичная обмотка состоит из $2 \times 5\,000$ витков,

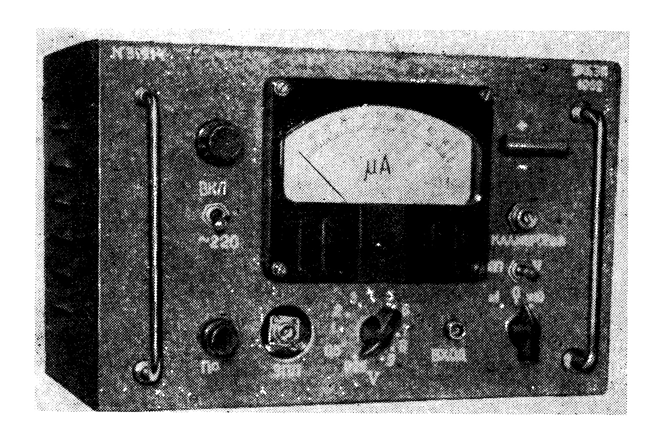


Рис. 23. Внешний вид лампового вольтметра.

а вторичная — из 10 000 витков провода ПЭВ 0,06. Для симметричности плеч трансформатора каркас его разделен перегородкой на две равные части, в каждую из которых уложено равное количество витков как первичной, так и вторичной обмоток.

Трансформатор питания $Тр_2$ выполнен на сердечнике из пластин трансформаторной стали Ш-20 (площадь поперечного сечения 8 *см*^{2}). Сетевая обмотка *I* состоит из 1 320 витков провода ПЭВ 0,25, обмотки *II*, *III* и *V*—соответственно из 1 470, 2×90 и 180 витков ПЭВ 0,15, обмотка *IV*—из 38 витков ПЭВ 1,2 и обмотка *VI*—из 36 витков ПЭВ 0,25.

Вместо вибропреобразователя можно использовать переделанное соответствующим образом поляризационное реле типа РП-4, РП-5 или РП-7. Переделка такого реле сводится к следующему: экранируются токоподводящие провода к подвижным и неподвижным контактам преобразователя, контакт *2* (неподвижный) соединяется с корпусом реле, обмотка реле экранируется ленточным отожженным пермаллоем и корпус изолируется от шасси. После внесения необходимых изменений реле регулируется. Для этого на его подвижный контакт подается постоянное напряжение (второй полюс источника является общим). Регулируя реле, надо добиться, чтобы напряжения, снимаемые с двух неподвижных его контактов, имели форму прямоугольных импульсов равных по длительности и амплитуде.

Настройка прибора сводится в основном к наладке усилителя, заключающейся в подборе режима ламп в соответствии с указанными на принципиальной схеме значениями напряжений на электродах.

Затем переходят к подгонке поддиапазонов прибора, для чего переключатель $П_1$ ставят в положение 0, а переключатель $П_4$—в положение 1 *в*. При этом стрелка микроамперметра должна занять нулевое положение. Если же она отклонится в крайнее правое положение, то необходимо будет изменить фазу опорного напряжения детектора.

После этого переключатель $П_1$ ставят в положение $\times 1$, а переключатель $П_4$ — в положение 0,25 *в* и подают на вход вольтметра напряжение 0,25 *в*. Изменяя величину сопротивления R_{18}, устанавливают стрелку микроамперметра в крайнее правое положение. То же самое проделывают на диапазонах 0,5 и 1 *в*, подавая на вход прибора соответственно 0,5 и 1 *в* и осуществляя подгонку диапазонов сопротивлениями R_{19} и R_{20}.

5. Прибор для измерения поляризационной емкости биологических тканей и угла их потерь

Г. С. Литвин

Знание величины электрического сопротивления кожных покровов тела позволяет судить о биохимических, биологических и биофизических процессах, протекающих в организме человека, и определять биологическое состояние тканей организма. До настоящего времени не существует единого метода и нет соответствующей промышленной аппаратуры для измерения полного электрического сопротивления живых тканей, вследствие чего нельзя сравнивать результаты отдельных исследований Ниже описываются метод измерения и конструкция прибора для определения полного электрического сопротивления живых тканей по измерению их поляризационной емкости и тангенса угла потерь.

Живая ткань не является конденсатором в том представлении, которое мы обычно связываем с таким прибором, но приобретает свойства конденсатора с момента наложения на нее внешней э. д. с., т. е. становится поляризационной емкостью. Биологический объект, как правило, представляет собой сложную комбинацию соединений омических сопротивлений и емкостей.

В примененном автором методе измерения через исследуемые ткани пропускался подпороговый ток напряжением 100 *мкв* и частотой 1 000 *гц*, рассматриваемый как внешний раздражитель. Поляризационная емкость тканей, так же как и емкость обычного конденсатора, вызывает сдвиг фаз между напряжением, приложенным к тканям и, проходящим через них током. При этом уголь потерь δ в угловых единицах или процентах характеризует отношение омического сопротивления тканей к емкостному сопротивлению последних и является важным параметром, характеризующим отношение солевой концентрации тканей к их поляризационной способности.

В основу работы прибора положена схема уравновешенного моста, одним из плеч которого является сопротивление исследуемых тканей. Из общей теории мостов переменного тока известно, что для его равновесия, т. е. отсутствия тока в его индикаторной диагонали,

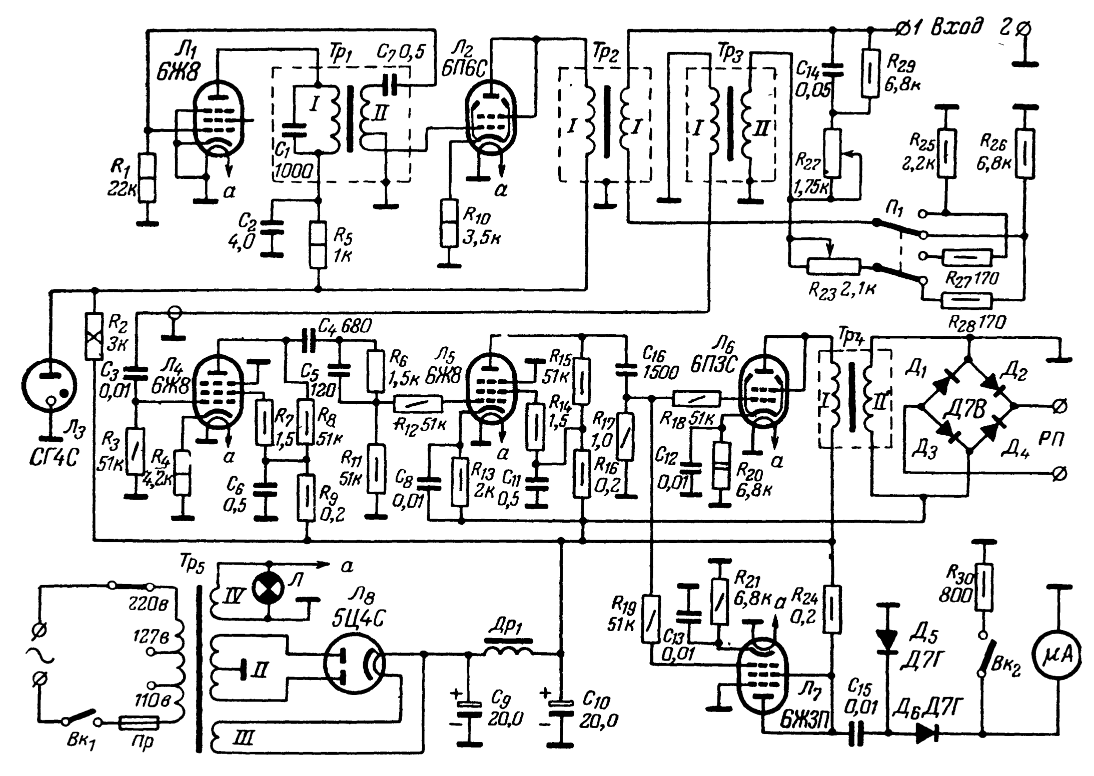


Рис. 24. Принципиальная схема прибора для измерения поляризационной емкости тканей.

необходимы равенство произведений модулей полных сопротивлений и равенство сумм фазовых углов противолежащих плеч.

На рис. 24 приведена принципиальная схема прибора. Первым (условно) плечом моста являются зажимы *1* и *2*, обозначающие вход, к которым подключаются два электрода, накладываемые на исследуемые кожные покровы. Сопротивления R_{25} R_{26} во втором и R_{27} R_{28} в третьем плече служат для перекрытия двух диапазонов при измерении поляризационной емкости ткани, а сопротивление R_{23} в третьем плече моста—для плавного перекрытия каждого диапазона. Изменения этого сопротивления градуированы в пикофарадах. Четвертое плечо содержит образцовую емкость C_{14}, последовательно с которой включено переменное сопротивление R_{22}, компенсирующее действие потерь, наблюдаемое в любых исследуемых тканях живого организма. Изменения этого сопротивления градуированы в величинах тангенса угла потерь.

Питается мост от генератора синусоидального напряжения, выполненного на лампе $Л_1$ по схеме с индуктивной обратной связью, осуществляемой через трансформатор $Тр_1$, первичная обмотка которого вместе с конденсатором C_1 образует колебательный контур, настроенный на частоту 1 000 *гц*. Напряжение с генератора усиливается усилителем с глубокой отрицательной обратной связью, выполненным на лампе $Л_2$, и через согласующий трансформатор $Тр_2$ подается в питающую диагональ моста.

Сигнал разбаланса через согласующий трансформатор $Тр_3$ поступает на вход усилителя, собранного на лампах $Л_4$—$Л_7$, усиливается и после выпрямления поступает либо на стрелочный индикатор (микроамперметр μA), либо на регистрирующий прибор *РП*. В качестве регистрирующего прибора обычно используют самопишущий милливольтметр с записью чернилами. В качестве индикаторного прибора использован микроамперметр типа М24 на 100 *мка*.

Измерения поляризационной емкости тканей и тангенса угла потерь могут производиться двумя способами. При первом способе измерительные электроды накладываются на место измерения и с помощью ручек управления компенсируется сигнал разбаланса. По лимбам, связанным с потенциометрами R_{22} и R_{23}, отсчитываются соответственно значения емкости (в пикофарадах) и тангенса угла потерь.

Второй способ измерения сводится к тому, что в начальный момент времени определяются поляризационная емкость тканей и тангенс угла потерь, так же как это делалось в первом случае, а затем по показанию регистрирующего прибора следят за изменением сигнала разбаланса во времени. Этот способ позволяет регистрировать изменения исходных величин (поляризационной емкости и угла потерь тканей) в течение длительного времени, например во время дачи наркоза, исследования медикаментозных воздействий и других операций.

За исключением трансформаторов, в приборе использованы стандартные детали промышленного изготовления. Постоянные сопротивления могут быть любого типа. Переменные сопротивления R_{22} и R_{23}, являющиеся измерительными, выбраны типа СПО-2 как более стабильные по своим параметрам во времени. Дроссель $Др_1$ может быть выбран индуктивностью порядка 30 *гн*, рассчитанный на ток 150 *ма*. Данные трансформаторов приведены в табл. 4.

На рис. 25 представлен внешний вид прибора, а на рис. 26

Таблица 4

Основные данные трансформаторов прибора

Обозначение по схеме	Сердечник, *мм*	Количество витков и марка провода			
		Обмотка *I*	Обмотка *II*	Обмотка *III*	Обмотка *IV*
Тр$_1$	Ш-10×16	1 500 ПЭЛ 0,2	490+10 ПЭЛ 0,12	—	—
Тр$_2$	Ш-12×15	900 ПЭЛ 0,14	12 ПЭЛ 0,12	—	—
Тр$_3$	Ш-12×33	5 000 ПЭ 0,07	15 000 ПЭЛ 0,07	—	—
Тр$_4$	Ш-16×18	1 800 ПЭЛ 0,04	68 ПЭЛ 0,5	—	—
Тр$_5$	Ш-28×33	360+360+40 ПЭЛ 0,41	2×830 ПЭЛ 0,2	18 ПЭЛ 1,0	23 ПЭЛ 1,2

Примечания: 1. Сердечник трансформатора *Тр*$_1$ собирается с воздушным зазором 0,2 *мм*.

2. Каркас трансформатора *Тр*$_3$ разделен перегородкой на две равные части, в которые равномерно укладываются обмотки *I* и *II*.

показан прибор со снятым кожухом. Смонтирован он на горизонтальном шасси с прикрепленной к нему вертикальной лицевой панелью, на которой расположены все органы управления (лимбы со значениями поляризационной емкости и тангенсов угла потерь, стрелочный индикатор, гнезда для подключения измерительных электродов и регистрирующего прибора). На шасси размещены детали усилителя, генератора и всех остальных узлов, входящих в схему.

При монтаже особое внимание было уделено изоляции и экра-

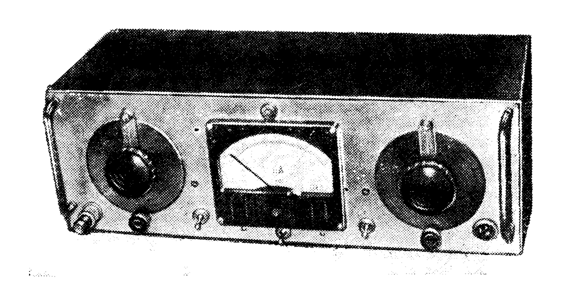


Рис. 25. Внешний вид прибора для измерения поляризационной емкости тканей.

нировке отдельных блоков и деталей прибора, а также уменьшению взаимного влияния цепей моста. Для этого трансформаторы $Тр_2$, $Тр_3$, $Тр_4$ и генераторный блок с входящими в него деталями (лампа $Л_1$, трансформатор $Тр_1$, конденсатор C_7 и сопротивление R_1) помещены в экраны из мягкой стали толщиной 0,5—1 *мм*.

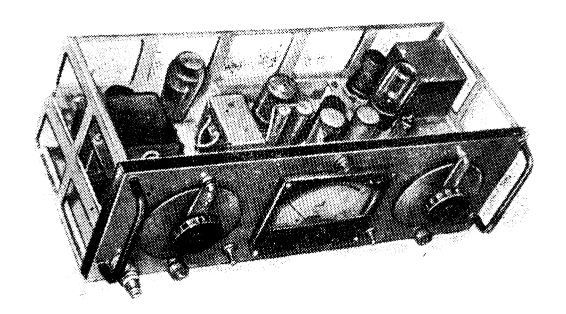


Рис. 26. Размещение основных деталей на шасси прибора.

Собранный прибор не требует особой наладки. Исключение составляют лишь генератор и измерительный мост. Налаживание генератора сводится к определению правильности подключения обмоток трансформатора $Тр_1$.

Наладка измерительного моста заключается в градуировке шкал отсчета поляризационной емкости и угла потерь. Градуировать при-

бор можно по образцовому магазину емкостей и магазину сопротивлений. Градуировка шкалы угла потерь производится по эквивалентной схеме реального конденсатора с потерями, т. е. параллельно с измеряемым конденсатором без потерь подключаются известные сопротивления и после пересчета результаты измерений наносятся на шкалу угла потерь. Эта шкала может быть выполнена в угловых единицах или в процентах.

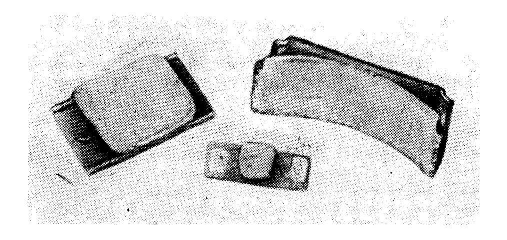


Рис. 27. Внешний вид электродов.

Для проведения исследований описанным прибором необходим набор неполяризующихся электродов, величина и форма которых выбираются в зависимости от цели исследования. Неполяризующиеся электроды изготовляются из серебряных пластинок толщиной 0,5 *мм*, покрываются хлористым серебром и после промывки обши-

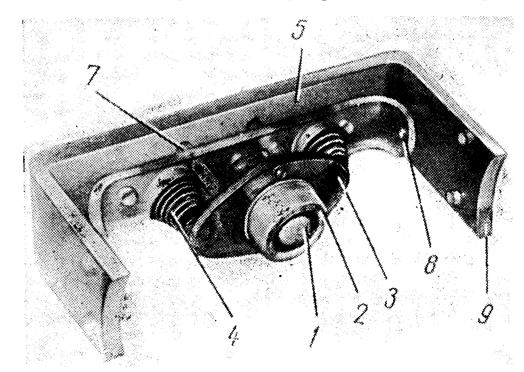


Рис. 28. Внешний вид электродов, обеспечивающих постоянный прижим контактов к исследуемой ткани.

ваются замшей. Укрепляются электроды на пластинке из органического стекла. На рис. 27 представлены три плоских электрода с различной площадью.

На рис. 28 приведен снимок электродов *1* и *2*, применяемых при длительной регистрации поляризационной емкости и тангенса угла потерь. При конструировании таких электродов большое внимание

было уделено степени нажатия их на исследуемые кожные покровы. Для этого применены две пары пружин: *4* и *5*, два направляющих штыря *7* и ограничивающие планки *6* и *8*. Чтобы обеспечить надлежащий контакт электродов с поверхностью кожи в течение длительного исследования, электрод *1*, представляющий собой круглую пластинку, помещается в стакан, выточенный из органического стекла, который заполняется замшей. Электрод *2* представляет собой кольцо, укрепляемое на дне двойного цилиндра, выточенного из органического стекла. Свободное пространство его также заполняется замшей, которая пропитывается физиологическим раствором. Оба электрода укреплены на планке *3*.

Смоченные в физиологическом растворе электроды накладываются на соответствующий сегмент исследуемых тканей (кожных покровов) и соединяются с прибором. Индикатор устанавливается на малую чувствительность с помощью выключателя $Вк_2$. Прибор включается в электросеть и прогревается в течение 15 *мин*. Затем регулировкой шкалы емкости добиваются минимального показания индикатора, а по шкале угла потерь нужно добиться установки стрелки индикатора на нуль. Если в данном диапазоне невозможно добиться минимальных показаний индикатора, то переключателем $П_1$ надо перейти на следующий диапазон.

Испытание прибора в клинических условиях показало возможность получения более полной картины динамики патологического процесса по сравнению с другими методами измерения полного сопротивления тканей. Величина поляризационной емкости тканей, измеряемая в различных сегментах верхних и нижних конечностей здоровых людей, колебалась от 24 000 до 40 000 *пф*, а тангенс угла потерь—от 0,295 до 0,41. У больных облитерирующим эндартериитом наряду с облитерацией сосудов отмечались изменения в величинах поляризационной емкости тканей в сторону их увеличения до 0,1—0,13 *мкф* и тангенса угла потерь до 0,5—0,56.

Определение данным прибором поляризационной емкости тканей показывает, что эта величина может служить одним из критериев для характеристики тонких физико-химических процессов, происходящих в исследуемых тканях .Они могут быть использованы для диагностики и оценки результатов проведенного лечения.

6. Малогабаритный влагомер на транзисторах

А. Ф. Свиридов

Влажность различных материалов и продуктов является важной физико-химической характеристикой, знание которой имеет большое значение как при проведении экспериментальных работ, так и при решении народнохозяйственных задач, связанных с производством, хранением и транспортировкой различных продуктов и материалов.

Описываемый прибор позволяет измерять влажность материалов в пределах от 0,8 до 30% с точностью порядка 0,03—0,5% в зависимости от общей влажности и состава материалов. Прибор экономичен и прост в обращении. Он питается от батареи для карманного фонаря (КБС-л-0,5) и потребляет ток 2—3 *ма*.

Влагомер работает на принципе изменения диэлектрической проницаемости исследуемого материала, являющегося диэлектриком емкостного преобразователя прибора. Диэлектрическая проницаемость

материала изменяется с изменением его влажности. Так как емкостный преобразователь является составной частью колебательного контура измерительного генератора, при изменении влажности исследуемого материала будет изменяться частота генерируемых этим генератором колебаний. В приборе имеется еще и генератор сравнения. При нулевой влажности частота колебаний измерительного генератора равна частоте колебаний генератора сравнения. При этом частота биений, равная разности частот двух генераторов, будет

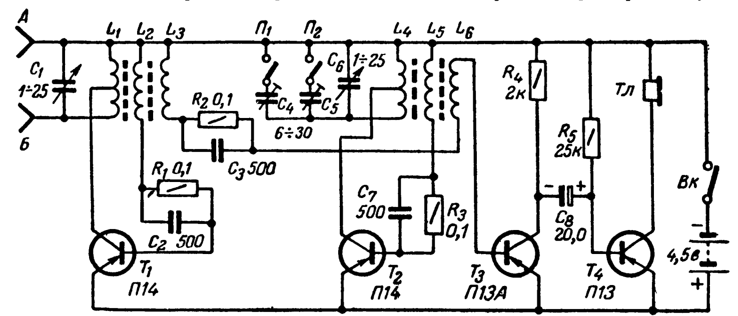


Рис. 29. Принципиальная схема влагомера на транзисторах.

равна нулю. Если же за счет изменения влажности частота измерительного генератора изменится, то в цепи сравнения появится сигнал низкой частоты.

В генераторе сравнения имеется конденсатор, изменяя емкость которого можно добиться исчезновения биений (частоты обоих генераторов равны). На ось этого конденсатора насажена стрелка, угол поворота которой соответствует определенному изменению влажности в процентах.

На рис. 29 приведена принципиальная схема прибора. Влагомер собран на четырех транзисторах, два из которых (T_1 и T_2) работают соответственно в измерительном генераторе и генераторе сравнения. Оба генератора собраны по схеме с индуктивной связью. Напряжение высокой частоты обоих генераторов суммируется в общей цепи, включающей выходные обмотки генераторов L_3, L_6 и вход усилителя на транзисторе T_3. Если частоты измерительного генератора и генератора сравнения различаются, то на выходе усилителя на транзисторе T_3 образуются биения. Они дополнительно усиливаются еще одним каскадом усиления на транзисторе T_4 и регистрируются с помощью головного телефона *Тл* или динамического микрофона (типа ЭДМ-4, ЭДМ-4М или ДМШ-1).

Детали в приборе, за исключением катушек, применены стандартные. Все сопротивления типа УЛМ 0,12 *вт*. При повторении конструкции их значения могут несколько отличаться от указанных на схеме из-за разброса параметров. Емкости конденсаторов C_2, C_3 и C_7 (типа КДК) некритичны и могут быть в пределах 250—3 000 *пф*. Конденсатор C_8 электролитический типа ЭМ или ЭММ. Конденсаторы C_4 и C_5 подстроечные типа КПК-1. Конденсаторы C_1 и C_6 также подстроечные с воздушным диэлектриком на фарфоровой плате. Они не должны иметь осевого люфта, чтобы не снизить точности опре-

деления влажности. На ось конденсатора C_6 надевается стрелка, изготовленная из органического стекла.

Катушки L_1, L_2, L_3 и L_4, L_5, L_6 намотаны внавал соответственно на двух каркасах, каждый из которых помещается в отдельный сердечник типа СБ-1а. Катушки L_1 и L_4 содержат по 40+150 витков, L_2 и L_5 — по 40 витков, а L_3 и L_6 — по 2 витка, намотанных проводом ПЭЛ 0,1.

Прибор собирается в металлической коробке размерами 50×80×120 *мм* или коробке из органического стекла, обклеенного изнутри металлической фольгой. Внешний вид влагомера с электродами в виде щупов показан на рис. 30, а на рис. 31 изображен вид его со стороны монтажа.

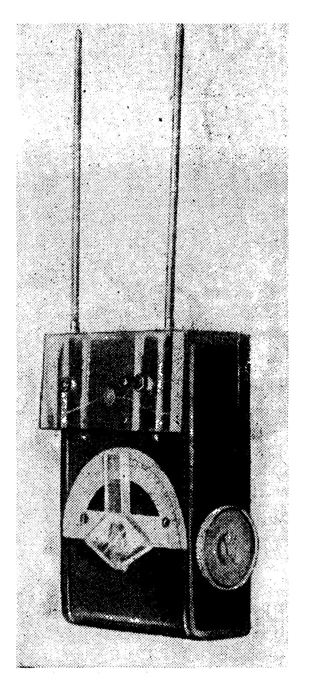


Рис. 30. Внешний вид влагомера с электродами, выполненными в виде игл.

Конденсатор C_1 (служит для установки нуля) крепится на боковой стенке прибора, а конденсатор C_6 — на лицевой панели (ось его должна совпадать с центром шкалы, в качестве которой использован школьный транспортир). Оси этих конденсаторов следует удлинить, насадив на них, например, трубки, которые после насадки надо хорошо пропаять. На удлиненную ось конденсатора C_1 надевается круглая ручка из органического стекла, а на ось конденсатора C_6 — ручка, изготовленная из толстого органического стекла в виде стрелки с расширением в осевой части. Конец стрелки опиливается в форме полукруга (выпуклой стороной кверху) и полируется до прозрачности. Этот полукруг образует цилиндрическую линзу, через которую рассматриваются деления шкалы. Посредине обратной (плоской) стороны и наверху этой линзы делают продольные тонкие риски, в которые втирается красная губная помада.

На лицевой панели устанавливаются также гнезда *А* и *Б* для подключения датчиков. На второй боковой стенке крепятся гнезда для подключения телефонной трубки и выключатель питания. Остальные детали размещаются на гетинаксовой плате, которая устанавливается, как показано на рис. 31, в непосредственной близости к конденсаторам C_1 и C_6.

Емкостный датчик можно выполнить в виде щупов длиной 12—18 *см*, вставляемых в гнезда *А* и *Б*, или в виде коробочки из диэлектрика, внутри которой вдоль боковых стенок крепится металлическая полоса, образующая один электрод, а вдоль дна крепится другой электрод в виде пластинки или толстого провода (выводы от этих электродов также вставляются в гнезда *А* и *Б*).

Датчик можно сделать и из алюминиевой кружки. К корпусу кружки крепится электрод для включения в гнездо *А*, а ко дну —

изоляционная пластина. В центре кружки делают отверстие, через которое (не замыкая его с корпусом кружки) вставляют в изоляционную пластину центральный электрод, укрепив его гайками с изоляционными шайбами. От этого центрального электрода делается вывод ((укрепленный на изоляционной пластине), который будет входить в гнездо *Б*. Центральный электрод не должен выступать за края кружки.

При всех вариантах датчика один из его электродов должен быть покрыт изоляционной пленкой (стекла, эмали, целлулоида, ка-

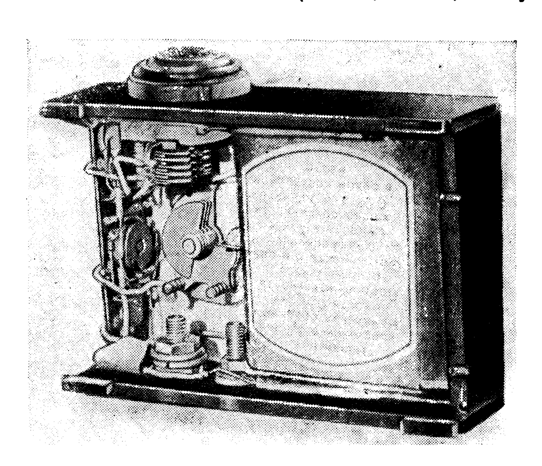


Рис. 31. Вид на влагомер со стороны монтажа.

прона и т. д.). Для уплотнения образцов в датчике (типа коробочки) и создания постоянного давления отливается свинцовая пластина, обеспечивающая давление 0,2—0,6 *кГ/см²*. Эта пластина нужна при измерении влажности хлопка и волокна. При измерении влажности порошков пластина не нужна.

Налаживание прибора сводится к настройке генераторов и подгонке их частот. Для этого в гнезда *А* и *Б* вставляют емкостный датчик и включают прибор. Если при поворотах ручек конденсаторов C_1 и C_6 не возникает звука, то меняют концы у катушки L_2 или L_5. Вращая затем сердечники катушек, добиваются, чтобы звук исчезал тогда, когда конденсатор C_1 введен наполовину, а ручка конденсатора C_6 повернута на 10°. После этого в датчик насыпают образец с максимальной влажностью, которую предстоит измерить данным прибором. Звук при этом должен прекращаться при повороте ручки конденсатора C_6 на 140—160°. Если этого не удается получить, то надо удалить часть пластин у конденсатора C_6. Для большей плавности настройки у конденсатора C_1 также можно удалить часть пластин.

Градуировка прибора заключается в измерении образцов с заранее определенной методом взвешивания влажностью. Для этого, измерив сухой образец, с помощью конденсатора C_1 устанавливают нуль прибора, совпадающий с началом шкалы. Затем постепенно

увеличивают влажность образца и производят повторные замеры до тех пор, пока не будет проградуирована вся шкала. По данным измерения строят таблицу перевода показаний прибора в проценты влажности.

Измерение влажности образцов с закладыванием в датчик производится аналогично тому, как проводилась градуировка, только теперь образец засыпается без взвешивания. Желательно при градуировке и определении влажности над одним и тем же образцом сделать два-три замера и взять среднее значение При определении влажности муки или зерна в мешках в гнезда *А* и *Б* вставляют щупы и, прокалывая ими мешки до определенной глубины, производят измерения. Результаты измерений оформляют в виде таблиц для каждого слоя мешков, так как с изменением высоты наложенных мешков будет изменяться давление и, следовательно, показания влажности. Аналогично определяется и влажность готовых тканей, уложенных в штабель. Здесь промежутки берутся по высоте на равных расстояниях в сантиметрах. Если измерение влажности производится при различных температурах, то и градуировку проводят при разных температурах (при этом термометр укрепляется внутри влагомера с окошечком для просмотра) Применение звукового индикатора в приборе позволяет достаточно точно устанавливать начало и срыв биений. В этом отношении стрелочные индикаторы обладают меньшей точностью. Емкостный датчик с изолированным электродом дает возможность измерять влажность как в проводящих веществах (азотные и другие удобрения), так и в диэлектриках. Измерение влажности при постоянном давлении позволило отказаться от взвешивания образца, что сократило время на измерение и избавило от необходимости иметь весы.

Данный прибор получил высокую оценку на 17-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов и был удостоен диплома первой степени.

7. Прибор для измерения малых количеств тепла

И. Р. Карпович

При различных физико-химических процессах (реакция образования комплексных соединений органических веществ, адсорбция газов и др.) происходит выделение небольших количеств тепла, по которому можно судить о ходе и результатах исследуемого процесса. Это тепло регистрируется в калориметре по изменению температуры вещества или веществ, участвующих в реакции.

Измерение температуры с помощью жидкостного (ртутного) термометра не может обеспечить необходимой в некоторых случаях точности (0,005—0,001° С) и затрудняет снятие характеристики выделения тепла во времени. Описываемый же прибор позволяет записывать на диаграммную ленту электронного потенциометра типа ЭПП-0,9 прирост температуры относительно исходной с 0,001 до 2,5° С при чувствительности 0,001° С. Исходная температура 20—25° С. Дрейф нулевой линии составляет 0,002° С в час. Для измерения температуры применен малогабаритный и малоинерционный платиновый термометр сопротивления, сопротивление которого при температуре 20° С равно 100 *ом*.

Принципиальная схема прибора показана на рис. 32. Термометр сопротивления $R_т$ включен в схему моста, сравнительное плечо ко-

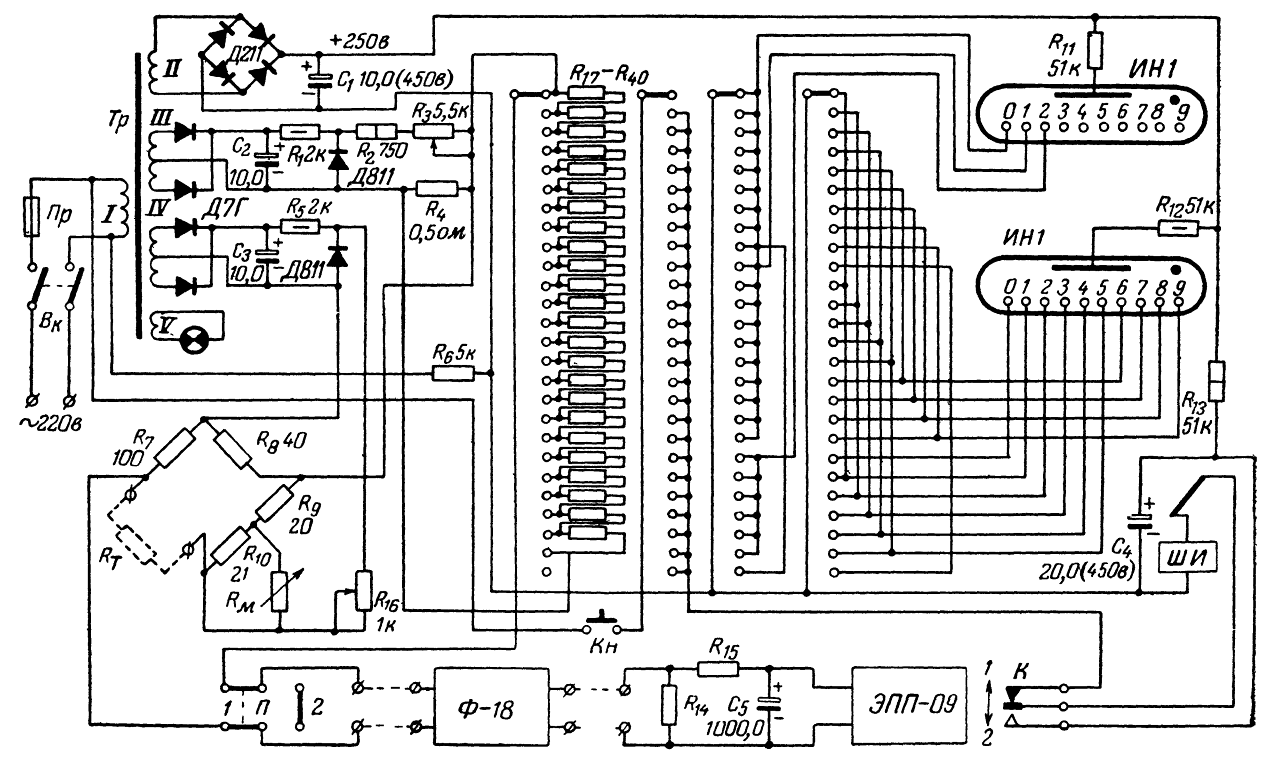


Рис. 32. Принципиальная схема прибора для измерения малых количеств тепла.

торого состоит из сопротивлений R_9 и R_{10}. Параллельно сопротивлению R_{10} включен магазин сопротивлений $R_м$ типа МСР-49, которым балансируется мост в исходном состоянии (перед началом измерений). Питание моста осуществляется постоянным стабилизированным напряжением. Последовательно с мостом включено переменное сопротивление R_{16}, ограничивающее ток через мост. Напряжение питания моста выбирается таким, чтобы при изменении температуры измеряемого объекта на 0,01° С разбаланс моста составлял 45 *мм/в*.

В измерительную диагональ моста включены фотоэлектрический усилитель типа Ф-18 и делитель из сопротивлений R_{17}—R_{40}, соединенных последовательно и коммутарируемых шаговым искателем типа ШИ-25. Усилитель Ф-18 является компенсационным прибором, и поэтому последовательность включения в измерительную цепь переменного сопротивления (делитель R_{17}—R_{40}) не вносит ошибки. Делитель R_{17}—R_{40} позволяет расширить шкалу прибора в 25 раз. При изменении (увеличении) температуры на 0,1° С, что соответствует отклонению стрелки регистрирующего прибора ЭПП-09 на всю шкалу, происходит автоматическое включение на вход усилителя Ф-18 напряжения, равного 75 *мкв* и противоположного по полярности измеряемому напряжению. После этого стрелки приборов Ф-18 и ЭПП-09 становятся на нуль и запись температуры продолжается. Автоматическое включение компенсирующего напряжения осуществляется делителем R_{17}—R_{40}, сопротивления которого (по 3±0,001 *ом*) выполнены из манганинового провода. Напряжение на усилителе устанавливается потенциометром R_3 так, что на каждом сопротивлении делителя падение напряжения достигает 75 *мкв*. При перемещении стрелки прибора ЭПП-09 до конца шкалы контактная группа *К* переводится в положение *2* и конденсатор C_4 разряжается на обмотку шагового искателя *ШИ*. Последний, срабатывая, переключает сопротивления делителя.

Счетчик числа шкал, показывающий, сколько раз измеряемая величина была компенсирована напряжением 75 *мкв* (0,1° С), выполнен на цифровых индикаторных лампах типа ИН1, которые переключаются шаговым искателем. Кнопкой *К* шаговый искатель устанавливается в начальное положение (сброс). При этом компенсирующее напряжение отсутствует и счетчик показывает единицу.

Фильтр $R_{15}C_5$ устраняет резкие колебания напряжения на выходе усилителя Ф-18, обусловленные вибрацией и сотрясениями его гальванометра.

Прибор питается от трех выпрямителей. Один из них, собранный по мостовой схеме на диодах Д211, служит для питания индикаторных ламп, а два других стабилизированных выпрямителя — для питания моста и делителя. Стабилизация напряжения осуществляется с помощью стабилитронов Д811.

Трансформатор питания *Тр* выполнен на сердечнике из пластин Ш-16; толщина пакета 40 *мм*. Обмотка I состоит из 1 540 витков провода ПЭВ 0,25, обмотка II — из 1 400 витков ПЭВ 0,2, обмотки III и IV — из 105 × 2 витков ПЭВ 0,2 каждая и обмотка V — из 45 витков ПЭВ 0,5.

Конструктивно прибор выполнен отдельным блоком размерами 500×400×250 *мм*, в который вмонтирован магазин сопротивлений МСР-49 (рис. 33). На переднюю панель прибора выведены зажимы для подключения термометра сопротивления и усилителя Ф-18, сете-

вой выключатель *Вк*, предохранитель *Пр*, переключатель (тумблер на три положения) *П*, цифровые индикаторные лампы счетчика и кнопка сброса *Кн*.

Настройка прибора сводится к подбору напряжений на делителе (R_{17}—R_{40}) и измерительном мосте. На каждом сопротивлении делителя напряжение должно быть 75 *мкв*. Напряжение для моста подбирается из условий чувствительности.

После включения прибора в электросеть и 15-минутного прогрева его переключатель *П* ставят в положение *2* и гальванометр фото-

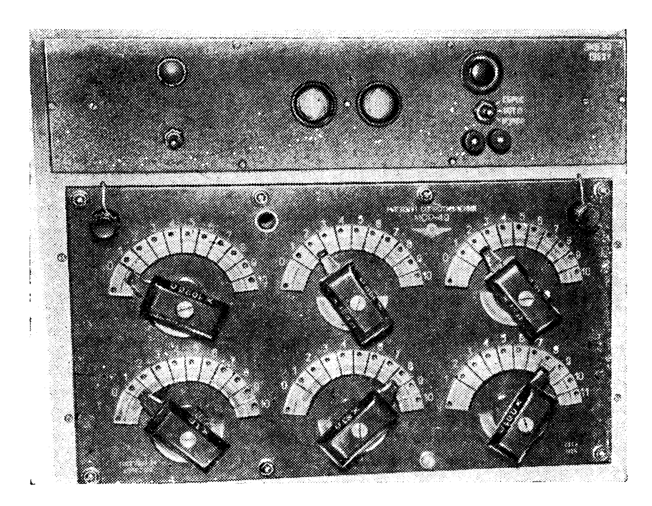


Рис. 33. Внешний вид измерителя малых количеств тепла.

усилителя устанавливают на нуль. Затем этот переключатель переводят в положение *1* и магазином сопротивлений балансируют мост. После этого прибор готов к работе. При сбросе искателя необходимо переключатель *П* установить в положение *2*.

Прибор успешно использовался для записи изменений температуры при образовании комплексных соединений органических веществ. Он может найти, кроме того, применение для измерения небольших количеств тепла, малых изменений температуры при различных физических и химических исследованиях.

8. Измеритель концентрации растворов

В. П. Давыдов

Прибор предназначен для измерения концентраций различных растворов. Он обеспечивает, например, возможность измерения концентраций растворов сероводорода в пределах 0,05—0,4 *г* в 100 *см*^{3} воды. Питается прибор от сети переменного тока напряжением 220 *в*.

Принципиальная схема измерителя концентрации показана на рис. 34. Прибор состоит из генератора высокой частоты, собранного

на лампе $Л_1$ по схеме индуктивной трехточки, балансного каскада на лампе $Л_2$ и выпрямителя с фильтром. Преобразователем прибора служит катушка индуктивности L_1 контура генератора.

При помещении в катушку индуктивности L_1 пробирки с дистиллированной водой добротность контура генератора имеет вполне определенное значение. Добавление в пробирку растворимого вещества меняет электропроводность жидкостного столбика, что в свою очередь вызывает изменение добротности контура и амплитуды возбуждаемых в нем колебаний. При этом анодный ток лампы генера-

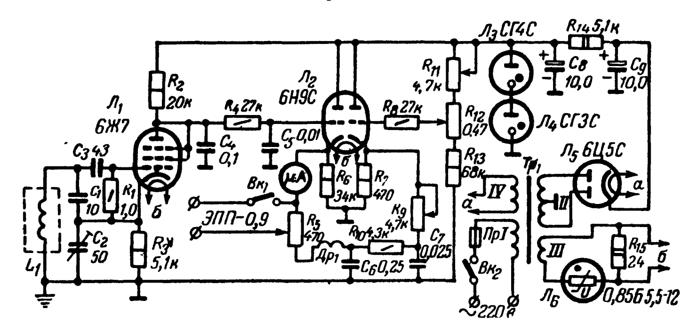


Рис. 34. Принципиальная схема измерителя концентрации растворов.

тора также изменяется, вызывая соответствующее изменение падения напряжения на сопротивлении R_2. Постоянная составляющая этого изменения ΔU через развязывающий фильтр R_4, C_4, C_5 поступает на управляющую сетку лампы $Л_2$ балансного каскада и разбалансирует его. Ток разбаланса измеряется регистрирующими приборами, включенными в катодные цепи лампы $Л_2$. Изменение тока, протекающего через регистрирующие приборы, зависит от изменения падения напряжения ΔU на сопротивлении R_2, а следовательно, от концентрации раствора в пробирке, помещенной в катушку контура.

В качестве индикаторного прибора разбаланса используется микроамперметр типа М24 на 300 *мка*. В катод лампы балансного каскада включены также сопротивление R_5, с которого снимается сигнал на самопишущий электронный потенциометр типа ЭПП-09, высокочастотный дроссель $Др_1$, ограничительные сопротивления R_9 и R_{10}. Делитель R_{11}—R_{13} необходим для установки режима лампы балансного каскада.

Для питания анодных цепей прибора используется двухполупериодный выпрямитель, собранный на лампе $Л_5$. Для снижения пульсации выпрямленного напряжения применяется фильтр $R_{14}C_8C_9$. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитронами $Л_3$ и $Л_4$. Накал ламп $Л_1$ и $Л_2$ стабилизирован бареттером $Л_6$.

Конструктивно прибор выполнен в виде отдельного блока размерами 300×230×200 *мм* и смонтирован на горизонтальном шасси и вертикальной лицевой панели (рис. 35). На последней размещены микроамперметр, гнезда для подключения потенциометра ЭПП-0,9, ручки управления, сигнальная лампочка, разъем для подключения катушки индуктивности контура. Кроме того, к лицевой панели и кожуху прибора крепится дюралюминиевый кронштейн со вставкой

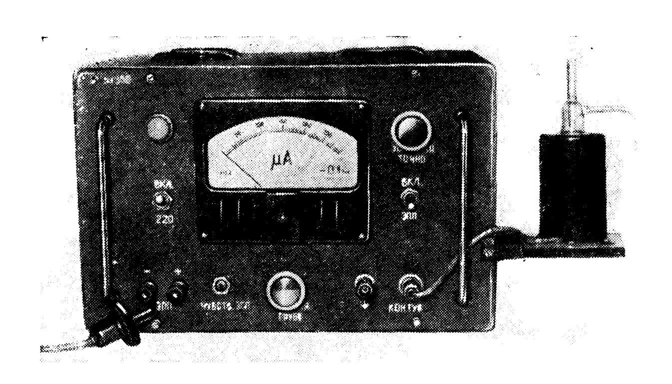


Рис. 35. Внешний вид измерителя концентрации растворов.

из органического стекла, на котором установлена катушка контура (датчик), состоящая из 12 витков провода ПЭЛШО 0,4, намотанных на эбонитовом цилиндрическом каркасе с высотой 60, внутренним диаметром 16 и толщиной стенок 3 *мм*. Датчик закрывается дюралюминиевым экраном.

На шасси расположены лампы, электролитические конденсаторы и трансформатор питания. Остальные детали размещены в подвале шасси.

Трансформатор Tp_1 собран на сердечнике (сечением 8 $см^2$) из пластин Ш-20. Обмотка *I* состоит из 1 320, а обмотка *II* из 2×1 500 витков провода ПЭВ 0,25, обмотка *III* — из 87 витков ПЭВ 0,8 и обмотка *IV* — из 33 витков ПЭВ 0,4.

Настройка прибора сводится к следующему. Поместив в датчик пробирку с дистиллированной водой, устанавливают номинальный режим ламп генераторного и балансного каскадов. Ручками установки нуля «Грубо» и «Точно» надо установить на нуль микроамперметр. Затем вводят в пробирку вполне определенное, дозированное количество растворимого вещества и сопротивлением R_9 устанавливают стрелку микроамперметра в крайнее правое положение. Сопротивлением R_5 подгоняют шкалу самопишущего прибора ЭПП-09.

Измеритель концентрации может быть использован также для измерения электропроводности растворов жидкости бесконтактным методом.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

9. Индукционный уровнемер

И. Р. Карпович

При образовании некоторых веществ происходит уменьшение исходного объема, по которому можно судить о ходе реакции и ее результатах. Некоторые подобные реакции проводятся в герметиче-

ски закрытых реакторах при избыточном давлении. Индуктивный уровнемер предназначен для записи изменений уровня в герметически закрытом реакторе от 0 до 50 *мм* с точностью 0,1 *мм*.

Датчиком изменения уровня служит катушка индуктивности *4* (рис. 36), в которой перемещается стальной сердечник *3*. Эта катушка включена в плечо моста переменного тока (рис. 37). Напряжение с измерительной диагонали моста поступает на выпрямитель, собранный по мостовой схеме на диодах $Д_1$—$Д_4$, а затем с потенциометра R_5 сигнал разбаланса подается на вход электронного потенциометра типа ЭПП-0,9.

Мост балансируется так, чтобы при нулевой отметке уровня в реакторе на выпрямитель подавалось напряжение порядка 1—2 *в*. Напряжение на входе ЭПП-09 при этом компенсируется напряжением, снимаемым с батареи *Б* путем подбора величины сопротивления R_7.

Измерительный мост питается от электросети через понижающий трансформатор *Тр*, выполненный на сердечнике из пластин Ш-12 (толщина пакета 25 *мм*). Обмотка *I* состоит из 3 300 витков провода ПЭВ 0,1, а обмотка *II* из 135 витков ПЭВ 0,41.

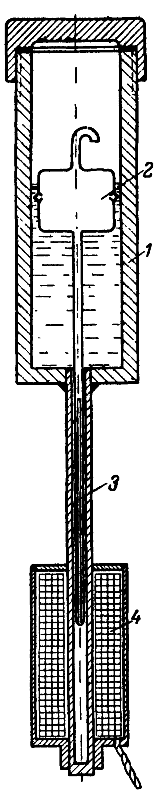


Рис. 36. Конструкция датчика индукционного уровнемера.

Реактор *1* изготовлен из нержавеющей стали. В нижнее дно его вварена трубка диаметром 10 *мм*, на которую надета катушка датчика (она может перемещаться по трубке и крепится стопорным винтом). Внутри реактора находится стеклянный поплавок *2*, имеющий снизу трубку диаметром 5 *мм*. В нижней части этой трубки запаян сердечник, собранный из девяти стальных проволок диаметром 0,6 *мм* и длиной 150 *мм*. Сверху поплавок имеет изогнутый (чтобы внутрь не попала жидкость) отросток для сообщения с внутренним объемом реактора, что предохраняет поплавок от раздавливания при повышении давления при реакции. Чтобы поплавок не прилипал к стенкам реактора, на его боковой поверхности напаяны небольшие бугорки.

Прибор собран в корпусе размерами 225×155×130 *мм*. На переднюю панель выведены зажимы для подключения катушки датчика и потенциометра ЭПП-09, потенциометры R_5 и R_7, выключатель *Вк*, сигнальная лампочка и предохранитель *Пр*. Батарея *Б* помещена внутри корпуса прибора и не выключается.

Сопротивления R_1, R_2 и R_3 — проволочные. Катушка индуктивного датчика содержит 6 000 витков провода ПЭВ 0,41 и имеет следующие размеры: длина 120 *мм*, внешний диаметр 40 *мм*, внутренний диаметр 10 *мм*.

Настройка прибора заключается в балансировке моста и подборе компенсирующего напряжения так, чтобы линейный участок градуировочной кривой укладывался в шкалу измерительного прибора. Этот участок у данного прибора примерно равен 50 *мм*.

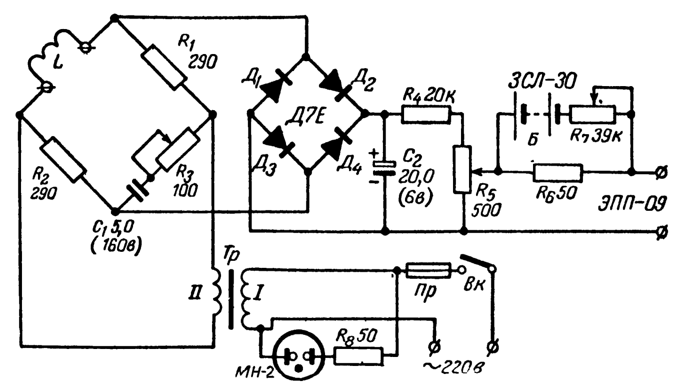


Рис. 37. Принципиальная схема индукционного уровнемера.

Прибор может быть использован как измеритель любого механического перемещения, для чего необходимо связать сердечник датчика с перемещающимся объектом.

10. Малогабаритная двухканальная тензостанция на транзисторах

К. В. Качурин

Одним из самых распространенных методов измерения динамических деформаций конструкций, материалов, деталей машин и пр. является способ измерения с помощью проволочных тензометрических датчиков, наклеиваемых на испытываемый объект.

Для преобразования деформаций в электрический сигнал в большинстве случаев используется мост с рабочим сопротивлением в одном из его плеч. Напряжение питания подводится к одной из диагоналей моста, а с другой его диагонали снимается напряжение сигнала. Ток в измерительной диагонали моста при рабочем датчике обычно не превосходит 10—20 *мка*, а наиболее чувствительные шлейфовые осциллографы имеют ток полного отклонения порядка 1—2 *ма*; поэтому между мостом и осциллографом необходимо включить тензометрический усилитель.

Выпускаемые промышленностью многоканальные тензометрические усилители на электронных лампах не всегда могут быть использованы для работы в полевых условиях и на подвижных объектах, так как питание их должно производиться от сети переменного тока. Описываемая же ниже компактная и экономичная по питанию тензостанция предназначена главным образом для работы в полевых условиях. Высокая экономичность в сочетании с невосприимчивостью к вибрациям и тряске позволяют использовать станцию на подвижных объектах, например для измерения деформаций отдельных деталей движущегося автомобиля

Тензостанция, спроектированная для работы со шлейфами осциллографа типа МПО-2, сопротивление которых равно 13 *ом*, имеет

следующие показатели: коэффициент усиления по току 60 и по мощности 45 *дб*; входное сопротивление 600 *ом*; максимальный выходной ток 4 *ма*; частотная характеристика линейна от 0 до 20 000 *гц* (выше 20 000 *гц* частотная характеристика не снималась); дрейф нуля по выходному току за 1 *ч* (через 5 *мин* после включения) не превышает 0,1 *ма*. Она может работать в широком интервале температур, не изменяя существенно своих характеристик. Для предотвращения влияния резких изменений наружной температуры,

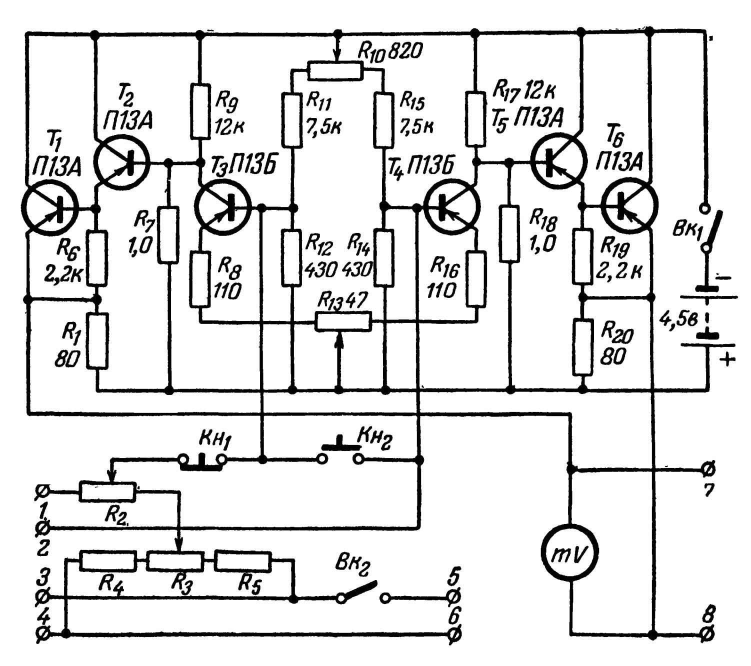


Рис. 38. Принципиальная схема усилителя тензостанции.

вызывающих повышенный дрейф нуля, корпус станции изготовлен из дерева и окрашен белой краской. Величина дрейфа также зависит от тщательности подбора транзисторов первого усилительного каскада.

Принципиальная схема усилителя одного из каналов тензостанции приведена на рис. 38. Это транзисторный усилитель постоянного тока с большим коэффициентом усиления. Усилитель собран по балансной схеме и состоит из трех усилительных каскадов. Первый каскад на транзисторах T_3 и T_4 с нагрузками в цепи коллектора усиливает сигнал, поступающий на базы транзисторов с зажимов *1* и *2*. Второй и третий каскады на транзисторах T_2, T_5 и T_1, T_6 собраны по схеме с нагрузками в цепи эмиттера, причем нагрузками второго каскада служат входные сопротивления третьего, шунтиро-

ванные сопротивлениями R_6 и R_{19}. С нагрузок последнего каскада (сопротивления R_1 и R_{20}) усиленный сигнал подается на зажимы *7* и *8*, а с них—на шлейф осциллографа. К выходу усилителя подключен также милливольтметр *mv* с нулем посредине шкалы, предназначенный для балансировки усилителя.

К зажимам *1*, *2*, *3* и *4* подключается измерительный мост, причем диагональ моста, на которую подается питание, соединяется с зажимами *3* и *4*, а измерительная диагональ — с зажимами *1* и *2*. Сопротивление R_2 предназначено для регулировки чувствительности, а с помощью сопротивления R_3 производится начальная балансировка сопротивлений входного моста.

Тензометрический мост питается постоянным током от внешней батареи, подключаемой к зажимам *5* и *6*, питание же усилителя осуществляется от батареи для карманного фонаря (4,5 *в*), установленной в корпусе прибора. Батарея питания усилителя рассчитана на 30—40 *ч* работы. Выключатели $Вк_1$ и $Вк_2$ позволяют включать в отдельности усилитель и питание моста. Каждый из двух усилителей тензостанции питается от отдельной батареи, питание же обоих усилительных мостов осуществляется от одной внешней батареи.

Балансировка усилителя производится с помощью сопротивлений R_{10}, R_{13} и кнопок $Кн_1$, $Кн_2$ следующим образом. При нажатии нормально замкнутой кнопки $Кн_1$ (разомкнутый вход) с помощью сопротивления R_{10} устанавливают на нуль стрелку милливольтметра. Затем при нажатой нормально разомкнутой кнопке $Кн_2$ (замкнутый вход) устанавливают на нуль стрелку милливольтметра потенциометром R_{13}. После этого снова размыкают вход кнопкой $Кн_1$ и корректируют положение стрелки потенциометром R_{10}, а затем вновь замыкают вход кнопкой $Кн_2$ и уточняют балансировку потенциометром R_{13} В такой последовательности регулировку повторяют до тех пор, пока стрелка милливольтметра не будет оставаться на нуле как при замкнутом, таки и при разомкнутом входе усилителя.

Как уже указывалось, для уменьшения дрейфа нуля желательно подобрать транзисторы первого каскада с возможно более близкими параметрами. Следует подбирать их с одинаковым и возможно меньшим обратным током коллектора, с одинаковыми зависимостями тока коллектора от тока базы и тока коллектора от напряжения базы. Подобранную пару транзисторов рекомендуется дополнительно испытать на одинаковость температурных изменений обратного тока коллектора.

Тензостанция смонтирована в деревянном корпусе размерами 49×142×248 *мм* (рис. 39). Нижняя крышка корпуса — съемная (на болтах). На лицевой панели расположены входные и выходные зажимы усилителей, зажимы для подключения батареи питания мостов, кнопки $Кн_1$, $Кн_2$, потенциометры R_2, R_3, R_{10}, R_{13} и милливольтметры. В нижней крышке имеется гнездо для двух батарей от карманного фонаря, питающих усилители. Контакты в гнезде устроены так, чтобы исключить неправильную полярность включения батарей.

В усилителях применены постоянные сопротивления типа МЛТ-0,5 и потенциометры типа СПО или СП. В качестве милливольтметров могут быть использованы любые микроамперметры с нулем посредине шкалы и полным отклонением стрелки при токе

50—200 *мка* (например, М63, М494, ПМ70, М24 и пр.). В описываемой тензостанции использованы переделанные головки ИТ от тестера ТТ-1.

Измерение деформаций с помощью тензостанции производят следующим образом. К зажимам *1*, *2*, *3* и *4* каждого усилителя подключают измерительные мосты, к зажимам *7* и *8* — осциллограф, а к зажимам *5* и *6* — батарею питания мостов. Напряжение батареи питания мостов выбирают в зависимости от сопротивления датчиков. Не рекомендуется (во избежание перегрева датчиков) выбирать напряжение выше 5, 10, 15, 20 и 30 *в* при сопротивлениях датчиков соответственно 100, 200, 300, 400 и 600 *ом*.

Следует отметить, что величина сигнала деформации прямо пропорциональна напряжению питания мостов. Поэтому при малых деформациях для повышения чувствительности преобразования можно рекомендовать максимальные напряжения, указанные выше. Если же ожидаются большие деформации, то напряжение питания мостов можно брать значительно меньшим.

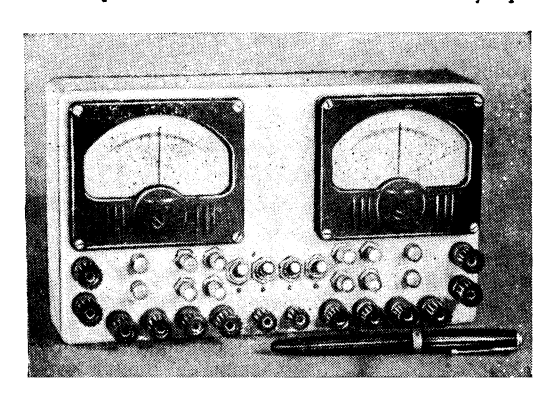


Рис. 39. Внешний вид тензостанции.

После того как собрана измерительная схема, необходимо придерживаться следующей последовательности в работе. Сначала включают питание усилителя тензостанции и, как описывалось выше, производят его балансировку. Затем потенциометром R_2 устанавливают малую чувствительность, включают питание моста и с помощью потенциометра R_3 производят балансировку моста, повышая при этом понемногу усиление канала. После этого включают шлейф осциллографа и, подбирая необходимый уровень усиления, делают пробную запись процесса. Подключив затем калибрирующее сопротивление к одному из плеч моста, производят тарировку сигнала. И, наконец, производят запись деформаций исследуемого материала.

С помощью такой тензостанции можно проводить тензометрические наблюдения на широком круге объектов. Данная конструкция была удостоена диплома второй степени на 17-й Всесоюзной выставке творчества радиолюбителей-конструкторов.

11. Сейсмическая установка для исследования малых глубин

Ю. А. Аветикян

При проведении строительных работ необходимо иметь сведения о распределении горных пород с разными физико-механическими свойствами в верхней части земной коры (обычно до глубины не больше 25 *м*). Такие сведения можно получить, применяя сейсмический (акустический) метод наблюдения, заключающийся в следующем. Если на поверхности земли возбудить звуковые колебания (путем взрыва или удара), а потом измерить времена распространения этих колебаний до различных точек земной поверхности на профиле наблюдения, то по зависимости между расстоянием от источника колебаний до места их регистрации и временем их распространения (годографу) можно определить глубину залегания и мощность пластов горных пород с разными физико-механическими свойствами.

Существующая аппаратура для проведения сейсмических исследований, как правило, громоздка и плохо приспособлена для исследования малых глубин. Ниже описывается сравнительно простая установка, позволяющая осуществлять исследования с достаточной точностью до глубины 25 *м*.

Блок-схема такой установки изображена на рис. 40. Акустические колебания (волны), образующиеся в исследуемой среде в момент удара кувалды *1* о землю, распространяются в среде по законам геометрической оптики, испытывая отражения и преломления на границах раздела сред с разными волновыми сопротивлениями ($\rho_1 C_1$, $\rho_2 C_2$, $\rho_3 C_3$). Время прохождения колебаний от места *А* до места наблюдения *Б*, находящегося на расстояниях X_1, X_2, X_3 ...,

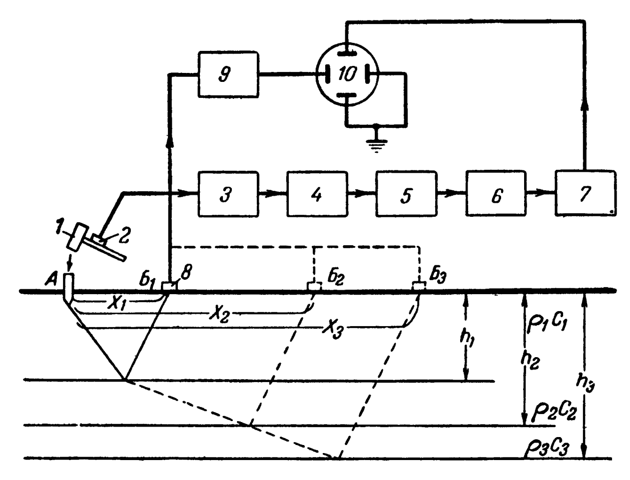


Рис. 40. Блок-схема сейсмической установки для исследования малых глубин.

соответственно зависит от глубины залегания отражающей (преломляющей) границы и акустических свойств среды.

Акустические колебания, достигшие точек наблюдения $Б_1, Б_2, Б_3$, улавливаются сейсмоприемником *8* (электродинамического типа) и после усиления избирательным усилителем *9* поступают на вертикальные пластины электронно-лучевой трубки *10*.

В момент удара кувалды о землю срабатывает инерционный контактор *2* и с него на вход *X* установки поступает короткий (до 20 *мксек*) импульс. Этот импульс усиливается предварительным усилителем *3*, формируется ждущим блокинг-генератором *4* и запускает ждущий мультивибратор *5*, являющийся генератором задержки. Время задержки мультивибратора *5* плавно регулируется от 1,4 до 200 *мсек*.

Задний фронт импульса, генерируемого мультивибратором задержки, запускает генератор развертки *6*, с которого снимаются одновременно два импульса. Один из них (импульс подсветки) прямоугольный положительной полярности подается на модулятор электронно-лучевой трубки и отпирает электронный луч, а другой пилообразный, соответствующий прямоугольному по времени, после усиления в усилителе *7* поступает на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки и осуществляет развертку луча.

Изменяя плавно величину задержки начала развертки, добиваются, чтобы время задержки было равно времени прохождения сигнала от излучателя (точка *А*) до сейсмоприемника (точки $Б_1, Б_2, Б_3$ ...). При этом на экране трубки первое вступление принятого сейсмоприемником сигнала совпадет с началом развертки. Величину задержки определяют по лимбу, проградуированному в миллисекундах.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 41. Усилитель вертикального отклонения включает в себя входной трансформатор, четыре каскада усиления и полосовой фильтр. Входной трансформатор $Тр_1$ предназначен для согласования сейсмоприемника с входным сопротивлением усилителя (коэффициент трансформации 1 : 10). В первых трех каскадах усилителя используются двойной триод $Л_1$ и один из триодов (верхний по схеме) лампы $Л_2$. Четвертый каскад собран на пентоде $Л_3$, работающем в режиме усиления напряжения. Между вторым и третьим каскадами включены потенциометр R_9 для плавной регулировки усиления и двойной Т-образный фильтр типа *RC* для подавления помех. Усиленное напряжение сигнала через разделительный конденсатор C_{11} подается на вертикально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки $Л_{11}$.

В качестве датчика (возбудителя сейсмических колебаний) используется кувалда весом 3—5 *кг*. На ручке кувалды установлен специальный контактор, состоящий из инерционного контакта и разрядной цепи (рис. 42). При ударе кувалдой контактная пластина *1* под действием инерционных сил переключает конденсатор *С* с верхнего контакта *3* на нижний контакт *2* и конденсатор разряжается на сопротивление входа *X*. Постоянная времени разрядной цепи подобрана так, что длительность запускающего импульса от инерционного контактора не превышает 15—20 *мксек*.

Схема развертки может работать в двух режимах: ждущем и непрерывном. В непрерывном режиме работы блокинг-генератор, собранный на нижнем (по схеме) триоде лампы $Л_2$, переводом переключателя $П_1$ в положение *2* включается на автоколебательный ре-

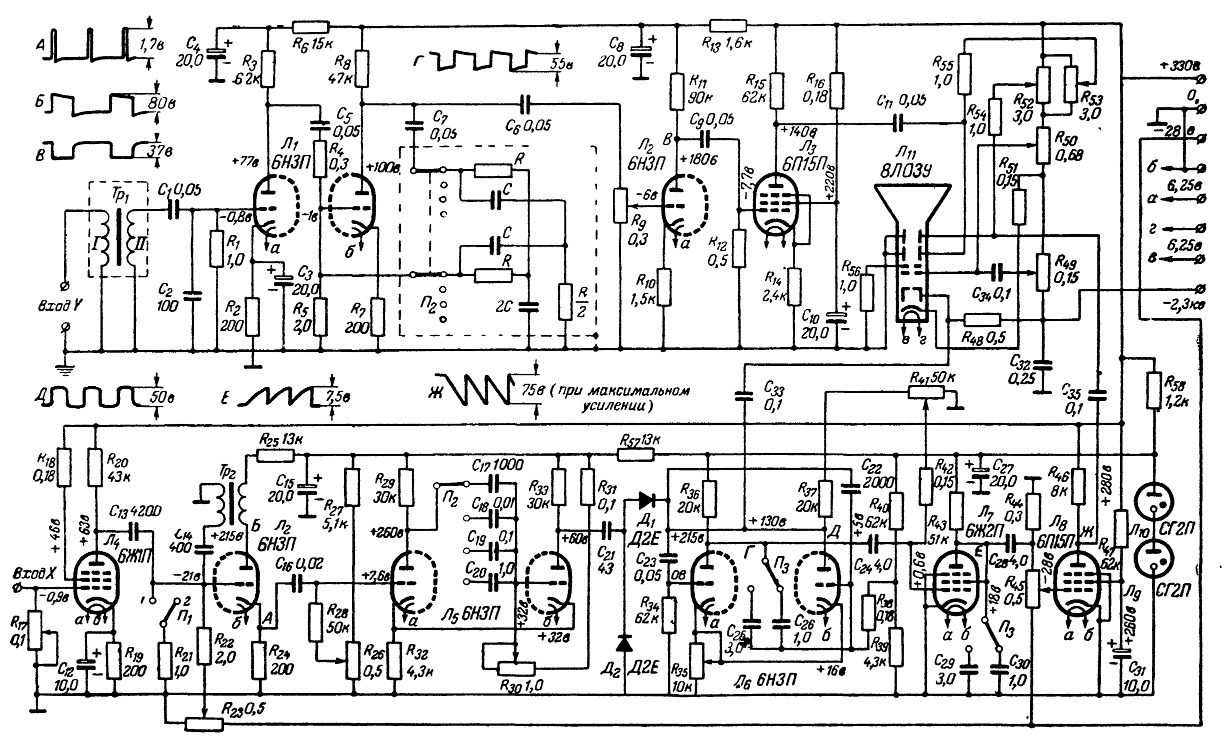


Рис. 41. Принципиальная схема установки для исследования малых глубин.

жим и генерирует импульсы, запускающие схему развертки. В ждущем режиме запускающий импульс подается на управляющую сетку лампы $Л_4$. Эта лампа, служащая одновременно и усилителем, и ограничителем, предназначена для улучшения переднего фронта запускающего импульса. С анода ее снимается положительный импульс, которым запускается блокинг-генератор. Последний генерирует импульс положительной полярности, запускающий ждущий мультивибратор.

Схему развертки можно запускать и импульсом, сформированным лампой $Л_4$. Но в этом случае возникает вероятность повторного запуска схемы из-за колебаний пластины контактора в момент удара кувалдой. Поэтому в схему включен блокинг-генератор, время восстановления которого заведомо больше длительности колебательного процесса пластины контактора.

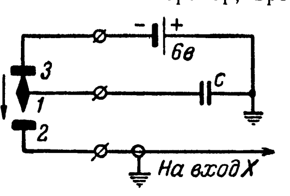


Рис. 42. Схема инерционного контактора.

Блок задержки состоит из ждущего мультивибратора, собранного на двойном триоде $Л_5$, и ограничителя с диодами $Д_1$ и $Д_2$. В исходном состоянии правый (по схеме) триод лампы $Л_5$ отперт, а левый заперт автоматическим сеточным смещением (напряжением на сопротивлении R_{32}). При подаче положительного импульса с катода лампы блокинг-генератора на сетку левого триода лампы $Л_5$, последний открывается и один из конденсаторов C_{17}—C_{20}, подключаемый переключателем $П_2$, начинает разряжаться (вернее, перезаряжаться). Лампа $Л_5$ генерирует один прмоугольный импульс и возвращается в исходное состояние. Длительность импульса зависит от емкости подключенного конденсатора и положения движка потенциомегра R_{30}. Полученный положительный прямоугольный импульс дифференцируется, и при помощи диодов $Д_1$ и $Д_2$ срезается первый пик (импульс от переднего фронта прямоугольного импульса).

Схема развертки запускается задним фронтом ждущего мультивибратора. Генератор развертки собран на лампах $Л_6$ и $Л_7$. При подаче на сетку правого (по схеме) триода лампы $Л_6$ запускающего импульса отрицательной полярности с блока задержки генерируется прямоугольный импульс положительной полярности, который с анода правого триода лампы $Л_6$ через разделительный конденсатор C_{33} поступает на модулятор электронно-лучевой трубки и производит засветку луча. Одновременно с анода левого триода лампы $Л_6$ снимается прямоугольный импульс отрицательной полярности. Этот импульс через разделительный конденсатор C_{24} подается на управляющую сетку лампы $Л_7$. Эта лампа работает в качестве электронного ключа. В исходном состоянии она отперта. Сразу же после поступления отрицательного импульса лампа запирается и начинается заряд конденсатора C_{29} или C_{30}. После прекращения действия на управляющую сетку лампы отрицательного импульса конденсатор быстро разряжается. Полученное пилообразное напряжение усиливается лампой $Л_8$ и поступает на горизонтально отклоняющие пластины электронно-лучевой трубки. Длительность пилообразного импульса можно изменять скачкообразно при помощи переключателя $П_3$. Амплитуда развертки изменяется плавно потенциометром R_{45}.

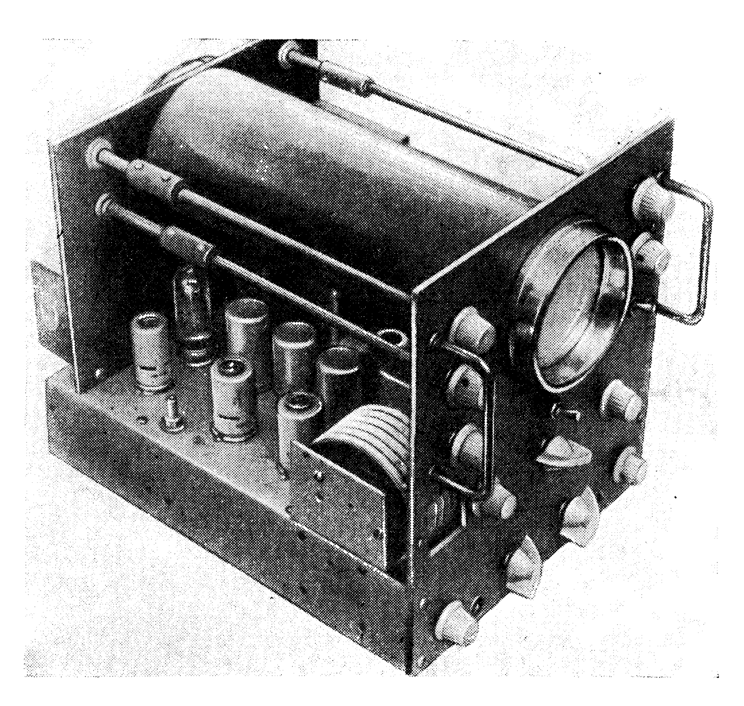


Рис. 43. Вид установки со снятым кожухом.

Питание электронно-лучевой трубки $Л_{11}$ производится от делителя R_{49}—R_{53}, включенного в цепь отрицательного напряжения минус 2,3 *кв*. Потенциометр R_{50} позволяет регулировать напряжение на первом аноде и служит для фокусировки. Яркость изменяется потенциометром R_{49}. Смещение луча на экране трубки в горизонтальном и вертикальном направлениях достигается изменением величины постоянного напряжения, снимаемого с сопротивлений R_{52} и R_{53}.

Установка питается от аккумуляторов и сухих батарей. Накал ламп $Л_1$—$Л_8$ осуществляется от аккумуляторов типа НКН-50 общим напряжением 6,25 *в*. Анодные цепи ламп питаются от четырех сухих батарей типа 100-АМЦГ-У-2,0, включенных последовательно (общее анодное напряжение должно быть порядка 330—360 *в*). Питание анодов ламп $Л_2$—$Л_4$ производится через стабилизатор напряжения, собранный на стабилитронах $Л_9$ и $Л_{10}$ (напряжение на выходе стабилизатора — около 250 *в*). Напряжение смещения 25—30 *в* снимается с отдельной секции, вынутой из батареи 100-АМЦГ-У-2,0. Питание инерционного контактора осуществляется от аккумуляторов накала ламп. Высокое напряжение (2,3 *кв*) для питания электронно-лучевой трубки берется от батарей «Молния», включенных последовательно. Нить накала трубки питается от аккумуляторов НКН-10 (две банки, напряжение 6,25 *в*). Аккумуляторы накала трубки должны быть тщательно изолированы от шасси прибора, так как катод трубки находится под высоким отрицательным потенциалом

(при соединении корпусов этих аккумуляторов с шасси установки происходит пробой между катодом и нитью накала трубки).

Выполнена установка в виде отдельного блока размерами 220×250×290 *мм*. Все основные детали смонтированы на горизонтальном шасси, жестко скрепленном с лицевой панелью (рис. 43). Ручки управления выведены на лицевую панель. При сборке установки использовались детали промышленного изготовления (сопротивления типов МЛТ и ВС, конденсаторы типов МБМ, КСО и др.). Трансформатор $Тр_2$ применен от блокинг-генератора кадровой развертки телевизора «Темп-3» (можно использовать любой аналогичный телевизионный трансформатор). Входной трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике из пластин Ш-8 при толщине пакета 8 *мм*. Обмотка *I* его состоит из 250 витков провода ПЭЛ 0,1, а обмотка *II* из 2 500 витков ПЭЛ 0,05—0,08.

Следует обратить внимание на экранировку первых каскадов усилителя, имеющего большой коэффициент усиления ($2,5 \cdot 10^6$) и склонного к самовозбуждению. Входной трансформатор необходимо для этого заключить в экран из отожженного пермаллоя или трансформаторного железа. Желательно экранировать целиком и первые два каскада усилителя.

Двойной Т-образный фильтр оформлен в виде отдельного блока в алюминиевом экране и соединяется с усилителем двумя короткими экранированными проводами. При выборе деталей для фильтра надо учитывать, что значения емкостей C (в микрофарадах) и сопротивлений R (в омах), определяемых по формуле $f = 160\,000/RC$, где f — частота фильтра (в герцах), не должны отличаться от расчетных более чем на 5% (иначе расширяется полоса пропускания усилителя). В описываемой установке фильтр настроен на пять фиксированных частот: 30, 65, 130, 500 и 2 700 *гц*. Полевые испытания прибора показали, что достаточно иметь три-четыре диапазона настройки фильтра в пределах 30—130 *гц*. В установке может использоваться промышленный сейсмоприемник любого типа, применяемый для сейсморазведки.

При наладке установки необходимо руководствоваться указанными на потенциальной схеме (рис. 41) значениями постоянных и импульсных напряжений (постоянные напряжения измерялись прибором Ц-20, а импульсные — осциллографом ЭНО-1). Для облегчения наладки на шасси выведены рукоятки переменных сопротивлений R_{23}, R_{26}, R_{35} и R_{41}.

Наладка усилителя сводится к устранению самовозбуждения и наводок, если они имеются. При наладке фильтра необходимо подогнать полосу пропускания на всех фиксированных частотах (в пределах 20—130 *гц*) так, чтобы на уровне 0,7 она была не больше 20—30 *гц*. Усилитель-ограничитель (лампа $Л_4$) обычно наладки не требует. При проверке работы блокинг-генератора (нижний по схеме триод лампы) может оказаться, что в непрерывном режиме работы (переключатель $П_1$ в положении *1*) он не генерирует. В этом случае надо поменять местами концы сеточной или анодной обмотки трансформатора $Тр_2$. Следует добиваться возможно более короткой длительности импульса блокинг-генератора, не больше 40—50 *мксек*. Движок потенциометра R_{23} нужно установить в такое положение, чтобы при положении *2* переключателя $П_1$ блокинг-генератор не генерировал, но при прикосновении рукой ко входу *X* появлялась генерация.

Ждущий мультивибратор (лампа $Л_5$) должен запускаться импульсами с блокинг-генератора. Этого добиваются потенциометром R_{26}. Длительность импульса мультивибратора устанавливается при помощи переключателя $П_2$ и сопротивления R_{30}, лежит в пределах 1,4—200 *мсек*, причем диапазоны должны несколько перекрываться На оси переменного сопротивления R_{30} устанавливается временной лимб. Градуировка мультивибратора производится осциллографом ЭНО-1 или С1-8 с максимально возможной точностью. При градуировке схема временной задержки должна быть включена в режим непрерывной генерации (переключатель $П_1$ в положении *1*).

Мультивибратор, собранный на лампе $Л_6$, налаживается таким же образом. Запуск этого мультивибратора производится задним фронтом прямоугольного импульса мультивибратора задержки развертки. Для этого импульс мультивибратора задержки дифференцируется и для запуска мультивибратора на лампе $Л_6$ используется второй импульс, полученный после дифференцирования.

Мультивибратор схемы развертки может генерировать импульсы длительностью 40 и 120 *мсек* в зависимости от положения переключателя $П_3$. Эти импульсы подаются на управляющую сетку лампы $Л_7$ и запирают последнюю, что вызывает заряд конденсатора C_{29} или C_{30}. Напряжение заряда усиливается лампой $Л_8$. Этот каскад и блок электронно-лучевой трубки наладки не требуют.

Неоднократные испытания описанной установки в полевых условиях показали, что она позволяет эффективно решать инженерно-геологические задачи и может дать большую экономию при применении ее для разведки малых глубин, значительно уменьшая объем буровых работ.

12. Импульсный ультразвуковой измерительный прибор

А. Д. Смирнов

Импульсный ультразвуковой метод широко применяется для определения физико-механических характеристик различных материалов и горных пород. Связано это с тем, что при несложных аппаратуре и методике наблюдений он позволяет с достаточной точностью определять такие характеристики материалов, как модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, плотность и вязкость. Круг задач, решаемых с помощью ультразвука, с каждым годом все расширяется. Однако разные материалы, исследуемые с помощью ультразвука, имеют различные акустические характеристики. Так, например, если при исследовании бетонов, каучуков, некоторых пластмасс, льда и других материалов затухание акустических колебаний незначительно и можно проводить акустические исследования на сравнительно высоких частотах (порядка сотен килогерц), то при исследовании дисперсных материалов (грунтовые массы, некоторые типы полимеров, рудные концентраты) затухание колебаний настолько значительно, что удается работать только на низких частотах (порядка десятков килогерц) и при значительных мощностях акустического импульса. В настоящее время промышленностью не выпускаются ультразвуковые приборы, приспособленные для работы в широком спектре частот, имеющие достаточную чувствительность входа и широкий диапазон изменений мощности акустического импульса.

Ниже описывается прибор, который можно использовать для исследования сред как с сильным, так и с незначительным затуханием. Он приспособлен для работы в диапазоне частот от 2,7 *кгц* до 2 *Мгц* при чувствительности не ниже 0,35 *мм/мкв*. При этом амплитуда выходного импульса может изменяться от 0,5 до 2,5 *кв* при длительности 50—5 *мксек*. Прибор может быть использован как для определения скорости прохождения ультразвуковых волн, так и для

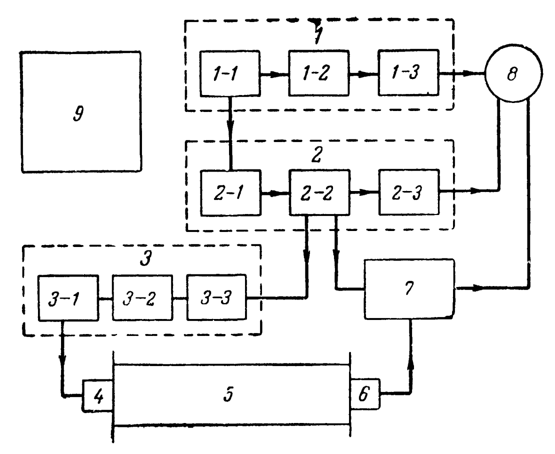


Рис. 44. Блок-схема импульсного ультразвукового измерительного прибора.

определения коэффициента поглощения. Кроме того, он позволяет следить за изменением волновой картины в зависимости от изменения структурных особенностей исследуемых материалов.

На рис. 44 показана блок-схема прибора. Задающий генератор *1-1* запускает блок задержки развертки *1-2* и управляет работой электронного коммутатора *2-1*. Последний через согласующий каскад *2-2* запускает каскад задержки генератора импульсов *3-3* и блок масштабных меток *2-3*, а также управляет работой усилителя *7*, запирая его на период генерирования масштабных меток.

Каскад задержки генератора импульсов *3-3* обеспечивает задержку запуска генератора импульсов на время 70—220 *мксек*, необходимое для того, чтобы компенсировать «мертвое время» блока задержки развертки *1-2* и тем самым наблюдать на экране индикатора *8* отсчетный (пусковой) импульс. Генератор импульсов *3-2* вырабатывает импульсы амплитудой 100 *в* и длительностью, изменяющейся в пределах 5—50 *мксек*. Эти импульсы усиливаются усилителем импульсов *3-1* до амплитуды 0,5—2,5 *кв* (изменяется ступенями) и подаются на передающий пьезодатчик *4*. Последний преобразует импульс электрического напряжения в акустический сигнал, который излучается в исследуемую среду *5*. После прохождения через исследуемую среду акустический сигнал попадает на приемный пьезодатчик *6*, которым он преобразуется в элекрический импульс напряжения. Этот импульс усиливается усилителем *7* и

подается на вертикальные пластины электронно-лучевого индикатора.

Блок задержки развертки *1-2* задерживает запуск генератора развертки *1-3* на время, равное времени прохождения сигнала через исследуемую среду. Генератор меток времени *2-3* генерирует метки: основные—через 2 *мксек*, кратные—через 10 и 100 *мксек*. На экране индикатора *8* одновременно наблюдаются волновая картина и шкала времени. Питание всех узлов схемы осуществляется от блока питания *9*.

На рис. 45 изображена принципиальная схема блока задающего генератора и генератора развертки. Напряжение синхронизации частотой 100 *гц* поступает с выхода двухтактного выпрямителя (см. рис. 52) и запускает задающий генератор, выполненный на правом (по схеме) триоде лампы $Л_5$ по схеме ждущего блокинг-генератора. Импульсы с анода этого триода запускают блок задержки развертки (лампа $Л_6$) и электронный коммутатор (лампа $Л_1$ на рис. 46). Блок задержки развертки собран по схеме ждущего мультивибратора и генерирует импульсы длительностью, изменяющейся в пределах 40—4 500 *мксек*, в зависимости от постоянной времени цепочки $C_{21}C_{22}R_{34}R_{35}$. Эта постоянная времени изменяется потенциометром R_{35} (плавно) и переключателем $П_2$ (грубо).

В случае необходимости к прибору вместо сопротивлений R_{34} и R_{35} может быть подсоединено внешнее сопротивление через штепсельный разъем $Ш_1$ и переключатель $П_3$. Эта так называемая «внешняя задержка» позволяет плавно изменять в широких пределах длительность импульса задержки на строго калиброванную величину. Сопротивление внешней задержки выполнено на специальном переключателе, который устроен так, что когда первая плата делает полный оборот, вторая плата поворачивается на $^1/_{12}$ часть оборота; затем, когда вторая плата делает полный оборот, третья плата поворачивается на $^1/_{12}$ часть оборота и т. д. Всего в переключателе используются четыре платы от переключателя на 11 положений. На первой плате установлены сопротивления по 200 *ом*, на второй—по 2 *ком*, на третьей—по 20 *ком* и на четвертой—по 200 *ком* (по 10 шт. на каждой плате). Такая конструкция переключателя позволяет изменять величину сопротивления внешней задержки в пределах от 0 до 2 222 *ком* с постоянной точностью (для нашего случая 0,01%).

Задний фронт импульса задержки дифференцируется цепочкой $C_{18}R_{23}$, усиливается левым (по схеме) триодом лампы $Л_5$ и запускает генератор развертки. Последний собран на лампе $Л_2$ по схеме фантастрона, работа которого управляется спусковой схемой (лампы $Л_3$ и $Л_4$). Спусковая схема собрана по схеме ждущего мультивибратора, у которого период собственных колебаний значительно больше периода пусковых импульсов, опрокидывающих схему; поэтому она вырабатывает импульсы, длительность которых определяется временем между запуском и остановкой. Работа генератора развертки происходит в момент положительного перепада напряжений на лампе $Л_3$. Этот же перепад напряжений в качестве импульса подсвета подается на электронно-лучевой индикатор, отпирая его. Скорость развертки регулируется с помощью конденсатора переменной емкости C_7 (плавно) и переключателя $П_1$ (грубо). Пределы изменений развертки 10—700 *мксек* на экран.

Пилообразное напряжение, вырабатываемое фантастроном, усиливается парафазным усилителем, собранным на лампе $Л_1$, и по-

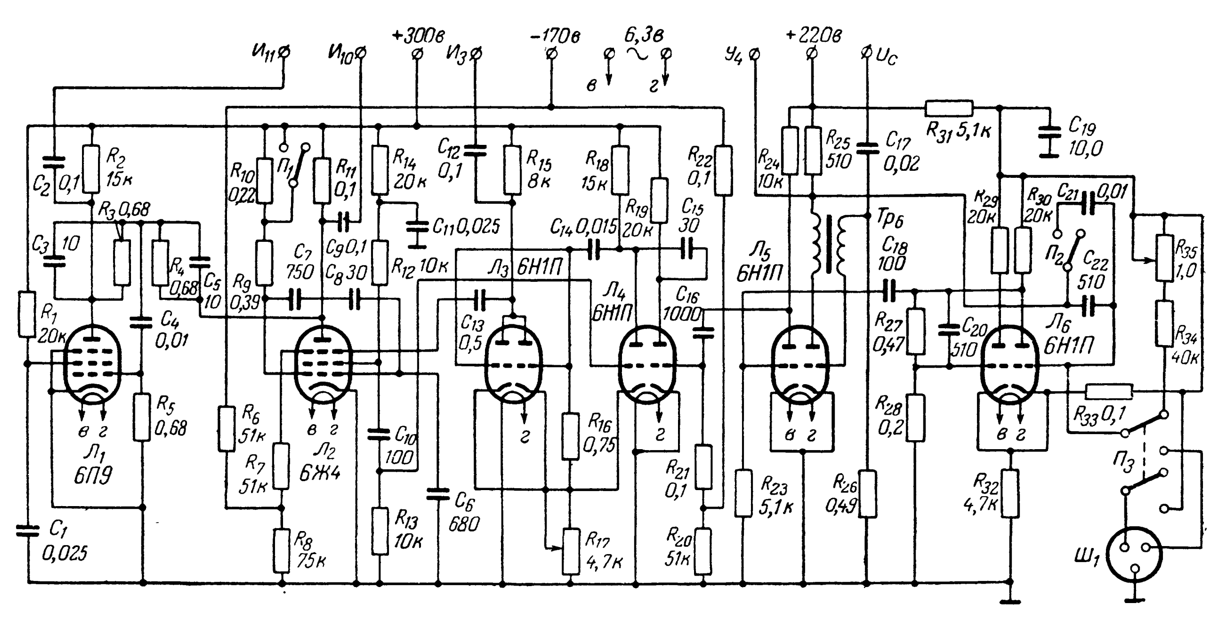


Рис. 45. Блок задающего генератора и генератора развертки.

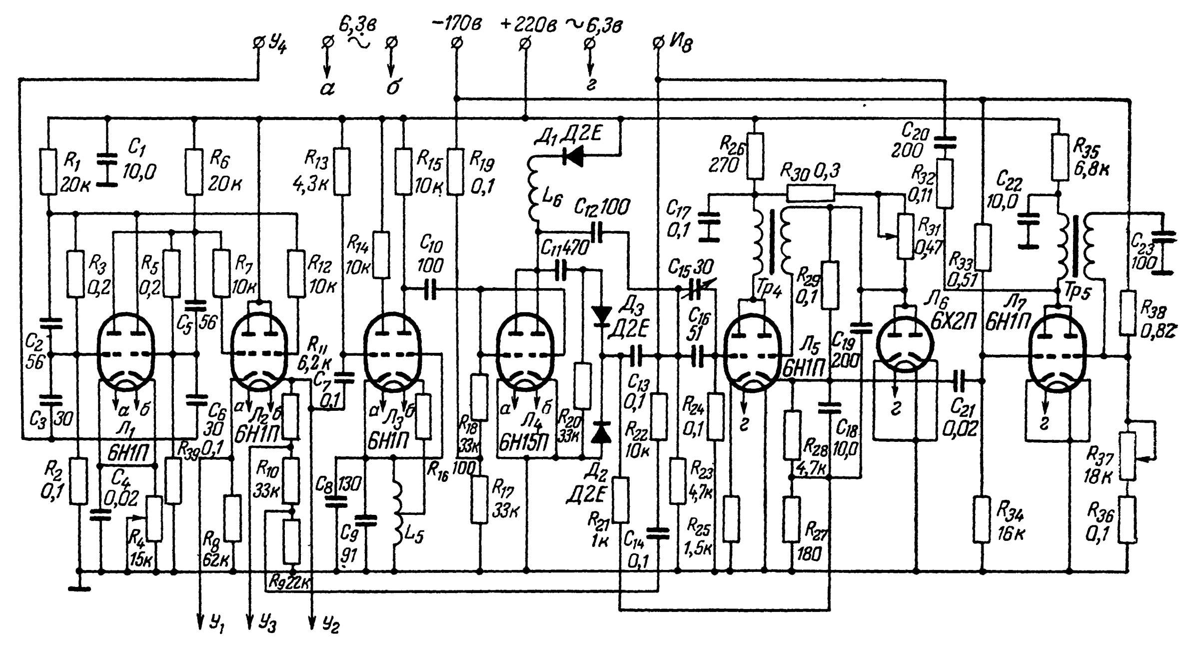


Рис. 46. Блок коммутации и масштабных меток.

дается на горизонтальные пластины электронно-лучевого индикатора.

Принципиальная схема блока коммутации и масштабных меток приведена на рис. 46. Электронный коммутатор выполнен по схеме триггера с двумя устойчивыми состояниями равновесия на лампе $Л_1$. Триггер генерирует импульсы с частотой, в 2 раза меньшей частоты задающего генератора. С анодов лампы триггера импульсы через согласующие каскады, выполненные по схеме катодных повторителей на лампе $Л_2$, поступают на генератор меток времени (запуская его), на усилитель (запирая его на период генерирования масштабных меток), на каскад задержки генератора импульсов (запуская его) и на электронно-лучевой индикатор. При этом на экране индикатора наблюдаются две развертки, на одной из которых видны масштабные метки, а на другой — волновая картина.

Генератор меток времени собран на лампе $Л_3$ по схеме емкостной трехточки и генерирует синусоидальное напряжение частотой 500 *кгц*. Формирующий каскад, выполненный на лампе $Л_4$, формирует из этого напряжения метки времени прямоугольной формы и положительной полярности и подает их на вертикально отклоняющие пластины индикатора. Импульсы с анода лампы $Л_4$, кроме того, поступают на вход делителя частоты на пять, собранного по схеме блокинг-генератора в заторможенном режиме на лампе $Л_5$. С выхода делителя частоты импульсы большей амплитуды, чем основные метки времени, и той же полярности также поступают на индикатор. Одновременно с этим импульсы с катода правого триода лампы $Л_5$ подаются на вход делителя частоты на десять, выполненного также по схеме заторможенного блокинг-генератора на лампе $Л_7$. С анода лампы $Л_7$ импульсы поступают на индикатор, образуя масштаб большей кратности. Таким образом, на экране электронно-лучевого индикатора одновременно наблюдаются три масштаба времени (метки через 2, 10 и 100 *мксек*).

На рис. 47 изображена принципиальная схема генератора импульсов. Каскад задержки генератора импульсов выполнен на лампе $Л_5$ по схеме фантастрона. Этот каскад, необходимый для согласования момента запуска генератора импульсов с положением кратных меток на экране, обеспечивает временную задержку, в пределах 70—220 *мксек*. Задний фронт импульса, генерируемого фантастроном задержки, дифференцируется цепочкой C_9R_{17}, усиливается правым (по схеме) триодом лампы $Л_3$ и поступает на вход генератора импульсов, запуская его.

Генератор импульсов собран по схеме мультивибратора с одним устойчивым положением равновесия на лампе $Л_4$. Длительность генерируемого импульса регулируется плавно в пределах 5—50 *мксек*. С анода лампы $Л_4$ через фазоинверсный усилительный каскад (левый триод лампы $Л_3$) импульс поступает на каскад предварительного усиления умощнителя импульсов (лампа $Л_2$) и с него — на выходной каскад (лампа $Л_1$). Амплитуда выходного импульса регулируется путем изменения анодного напряжения на лампе $Л_1$, которое в свою очередь регулируется переключателем $П_2$ (см. рис. 50).

Принципиальная схема широкополосного усилителя с элементами низкочастотной и высокочастотной коррекции представлена на рис. 48. Полоса пропускаемых частот усилителя составляет 2,7—2 000 *кгц*, а коэффициент усиления равен $1{,}1 \cdot 10^6$. Величина

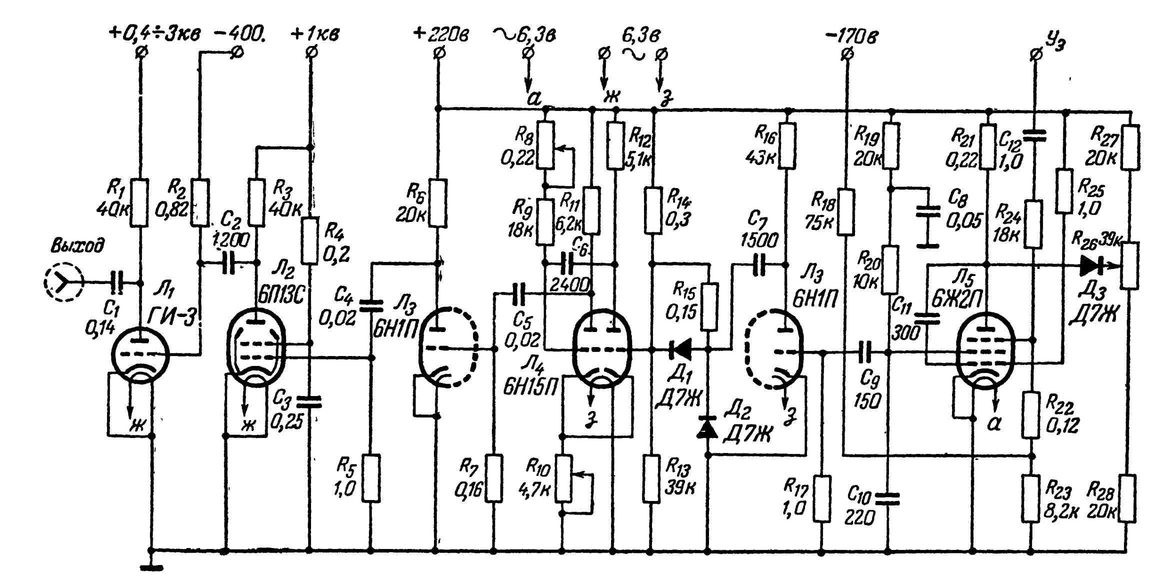


Рис. 47. Генератор импульсов.

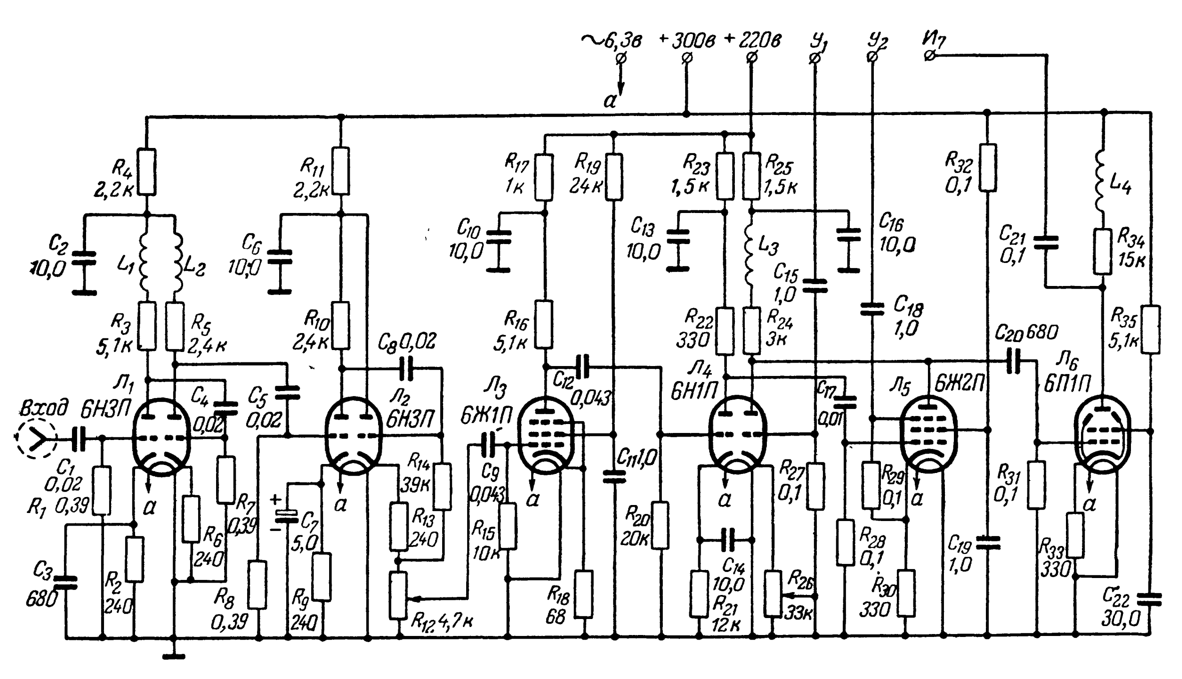


Рис. 48. Усилитель сигналов.

усиления может плавно изменяться потенциометром R_{12}, включенным в катодную цепь правого (по схеме) триода лампы $Л_2$, работающего в режиме катодного повторителя. Такое включение потенциометра позволяет изменять величину усиливаемого напряжения во всем спектре усиливаемых частот без искажения сигнала. Кроме того, величина сигнала может быть уменьшена в 10 раз делителем, выполненным в виде переходника и включаемым непосредственно на вход прибора.

Управление усилителем осуществляется путем подачи на сетки ламп $Л_4$ (правый триод) и $Л_5$ управляющих сигналов.

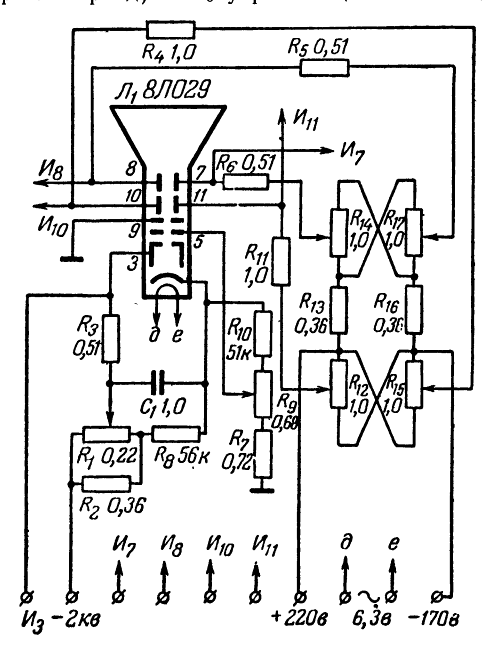


Рис. 49. Блок электронно-лучевого индикатора.

На рис. 49 представлена принципиальная схема блока индикатора с электронно-лучевой трубкой $Л_1$. Схема блока содержит в основном все необходимые элементы включения трубки и элементы управления лучом (смещения луча по горизонтали и вертикали, регулировка яркости и фокусировки) и особых пояснений не требует.

Принципиальная схема блока питания прибора приведена на рис. 50. Этот блок, предназначенный для питания всех ламп прибора, состоит из трех трансформаторов и шести выпрямителей с фильтрами.

Анодные цепи ламп прибора, за исключением $Л_1$ и $Л_2$ генератора импульсов (см. рис. 47), питаются от выпрямителя, собранного по мостовой схеме на диодах $Д_1$—$Д_8$. С разных точек фильтра этого выпрямителя снимаются напряжения 300 и 220 *в*, а непосред-

ственно с выхода выпрямителя поступает напряжение для запуска задающего генератора (напряжение синхронизации U_c). Анодное напряжение на лампу $Л_2$ (рис. 47) 1 000 *в* поступает от выпрямителя, собранного по схеме удвоения напряжения на диодах $Д_{21}$—$Д_{26}$. Выходная лампа умощнителя импульсов $Л_1$ (рис. 47) питается от выпрямителя, собранного по схеме удвоения напряжения на диодах $Д_{27}$—$Д_{38}$ Напряжение с этого выпрямителя можно изменять в пределах 500—2 500 *в* путем подключения соответствующих частей вторичной обмотки трансформатора $Тр_3$ при помощи переключателей $П_2$ и $П_3$.

Отрицательное смещение (400 *в*) на лампу $Л_2$ подается с выпрямителя, собранного по мостовой схеме на диодах $Д_{17}$—$Д_{20}$. На все остальные лампы прибора напряжение смещения (170 *в*) снимается с выпрямителя, собранного по мостовой схеме на диодах $Д_9$—$Д_{12}$.

Высокое напряжение для питания электронно-лучевой трубки поступает от выпрямителя, собранного по схеме учетверения напряжения на высоковольтных селеновых столбиках $Д_{13}$—$Д_{16}$. Напряжение для накала ламп подается с соответствующих обмоток трансформаторов блока питания. Общая потребляемая прибором мощность от электросети составляет 600 *вт*.

Прибор, за исключением корректирующих индуктивностей и трансформаторов питания, выполнен из деталей промышленного изготовления. При изготовлении прибора были частично применены детали и узлы от выпускаемого промышленностью испытателя кабелей и линий типа ИКЛ-5. В частности, с небольшой переделкой были использованы узлы генератора развертки, детали питания электронно-лучевой трубки, оконечные каскады усилителя сигналов. Эти узлы, однако, могут быть изготовлены и самостоятельно.

Сопротивления в приборе применены типа МЛТ, а конденсаторы — типов МБГО, КСО, КБГ, КТК; электролитические конденсаторы типа ЭМ использованы только в цепях коррекции усилителя. При повторении конструкции могут быть, конечно, применены конденсаторы и сопротивления любых других типов.

Трансформатор $Тр_1$ (рис. 50) выполнен на кольцевом сердечнике (из ленты 0,35 × 60 *мм*) с внутренним диаметром 60 и наружным 120 *мм*. Обмотка *I* состоит из 673 и обмотка *II* из 76 витков провода ПЭЛ 0,64, обмотка *III*—из 770 витков ПЭЛ 0,41, обмотки *IV* и *V* — из 20+20 витков провода ПЭЛ 1,25 каждая и обмотка *IV* (экран) — из слоя провода ПЭЛ 0,41.

Трансформатор $Тр_2$ имеет кольцевой сердечник (из ленты 0,35× ×40 *мм*) с внутренним диаметром 45 и наружным 90 *мм*. Обмотка *I* состоит из 124 витков провода ПЭЛ 0,59, обмотка *II*—из 1 270 и обмотка *III*—из 2 550 витков ПЭЛ 0,15, обмотка *IV*—из 38 витков ПЭЛ 0,41 и обмотка *V* (экран)—из слоя провода ПЭЛ 0,41.

Трансформатор $Тр_3$ собран на сердечнике из пластин Ш-25; толщина пакета 35 *мм*. Обмотка *I* состоит из 1 200 витков провода ПЭЛ 0,41, обмотка *II* — из 800 витков ПЭЛ 0,1 с отводами от 870-го, 1160-го, 1450-го, 1770-го, 2030-го, 2900-го и 5800-го витков, обмотка *III* — из 2 310 витков ПЭЛ 0,15, обмотка *IV* — из 2 310 витков ПЭЛ 0,1, обмотки *V* и *VI*—из 37 витков ПЭЛ 1,5 каждая и обмотка *VII* (экран)— из слоя провода ПЭЛ 0,41.

Трансформаторы $Тр_4$, $Тр_5$ и $Тр_6$ — импульсные стандартные (любого типа) на длительность импульса порядка 1 *мксек*. Дроссель $Др_1$ обычный любого типа.

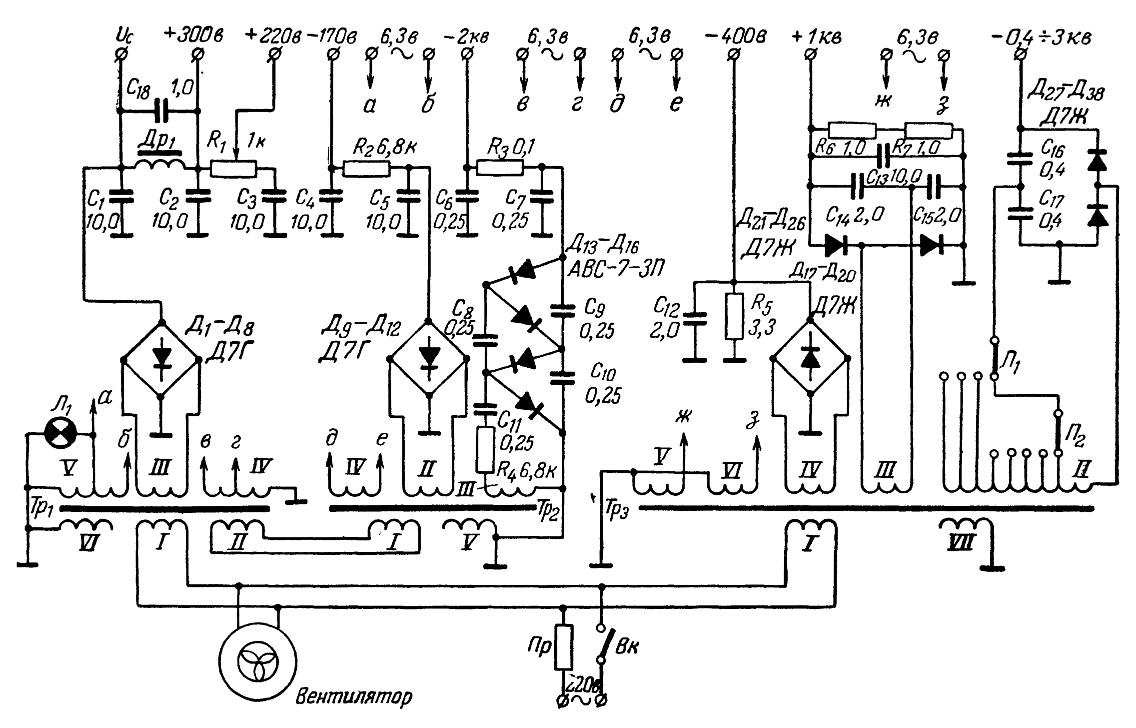


Рис. 50. Блок питания.

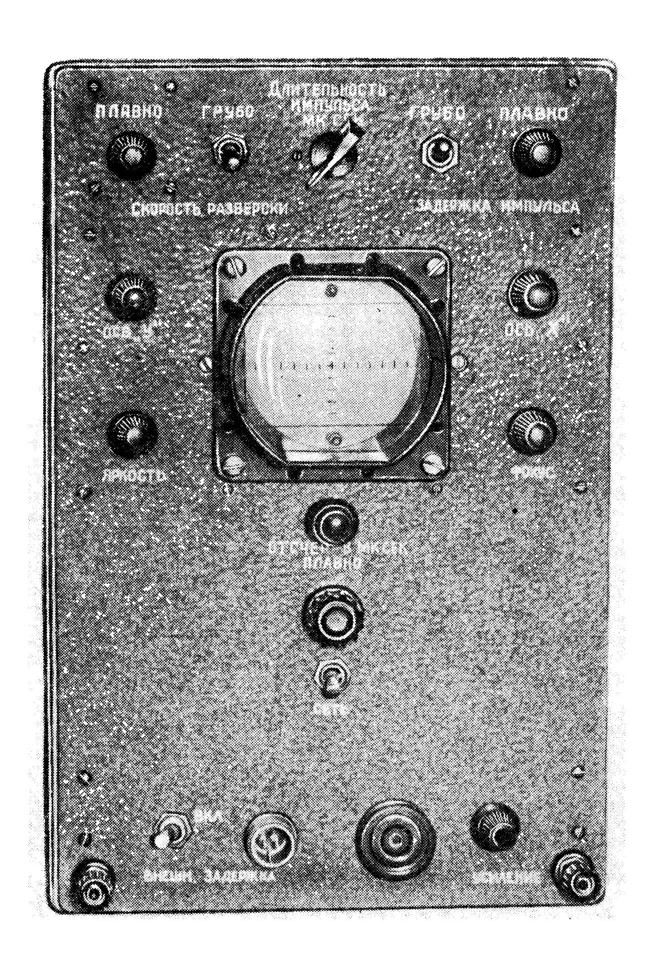


Рис. 51. Передняя панель прибора.

Катушки L_1 (250 витков, индуктивность 240 *мкгн*) и L_2 (66 витков, индуктивность 2 *мкгн*) намотаны проводом ЛЭШО 7×0,07 на каркасах диаметром 9 *мм*. Катушки L_3 и L_4 (по 120 витков, индуктивность 210 *мкгн*), а также катушки L_5 (70+70 витков, индуктивность 360 *мкгн*) и L_6 (90 витков, индуктивность 160 *мкгн*) намотаны проводом ПЭЛШО 0,15 на каркасах диаметром 12,5 *мм*. Все катушки выполнены намоткой типа «Универсаль».

Прибор смонтирован в металлическом корпусе размерами 470×330×230 *мм*. На переднюю панель (рис. 51) выведены ручки управления генератором развертки, блоком задержки развертки,

электронно-лучевым индикатором, а также разъемы для подключения внешней задержки и приемного датчика. Здесь же находятся индикатор включения прибора и выключатель сети.

На задней стенке прибора размещены гнездо для подключения передающего пьезодатчика, переключатель амплитуды выходных импульсов, разъем для подключения сетевого шнура и вентилятора и предохранитель. Там же установлен съемный футляр размерами 180 × 180 × 170 *мм*, в котором помещен вентилятор типа ВН-7, предназначенный для охлаждения прибора.

Необходимо отметить, что монтаж прибора очень плотный, так как при сравнительно небольших его габаритах он содержит довольно много сильно нагревающихся деталей. Поэтому работа прибора с надетым кожухом возможна только при включенном вентиляторе.

Внешний вид прибора со снятым кожухом представлен на рис. 52. Прибор собран на двух горизонтальных шасси, жестко скрепленных с лицевой панелью. На верхнем шасси размещены блоки задающего генератора, задержки развертки, генератора развертки, генератора меток времени с делителями частоты, каскад задержки генератора импульсов, генератор импульсов с каскадом запуска и фазоинверсным усилителем. Все элементы этих блоков размещены так, чтобы соединительные провода были как можно короче. Сопротивления и конденсаторы всех узлов верхнего шасси размещены на двух платах. Соединительные провода от них объединены в жгуты.

Наладка блоков и узлов, расположенных на верхнем шасси, сводится в основном к подгонке режима их питания и подбору отрицательных смещений на управляющие сетки отдельных ламп. При наладке генераторов, возможно, потребуется поменять местами концы обмоток импульсных трансформаторов. Частоту генератора меток времени (500 *кгц*) необходимо подогнать по эталонному генератору. Особенно тщательно надо подобрать детали электронного коммутатора. Детали, входящие в разные плечи триггера, должны быть идентичными по характеристикам.

При необходимости изготовить выносной блок задержки надо учесть, что изготовить переключатель такой конструкции, чтобы он обеспечивал при полном обороте первой платы поворот следующей только на $^1/_{12}$ часть оборота, сложно и лучше применить для этого шаговые искатели типа ШИ-11, соединив их соответствующим образом. Применение шаговых искателей при определенной схеме их коммутации позволит быстро и с достаточной точностью устанавливать необходимую задержку сигнала. В данной статье конструкция блока выносной задержки не описывается, так как такой блок требуется только при особо точных измерениях. Для большинства практических целей достаточно элементов изменения величины задержки, имеющихся в приборе, тем более что поворот ротора сопротивления задержки осуществляется с помощью верньера.

На нижнем шасси прибора расположены трансформаторы и детали фильтров блока питания, умощнитель импульсов и усилитель сигналов (выходные каскады) В подвале этого шасси размещены элементы выпрямительных устройств и входные каскады усилителя сигналов. Умощнитель импульсов, выполненный без специальной экранировки, расположен в задней части шасси (подальше от усилителя и ближе к вентилятору).

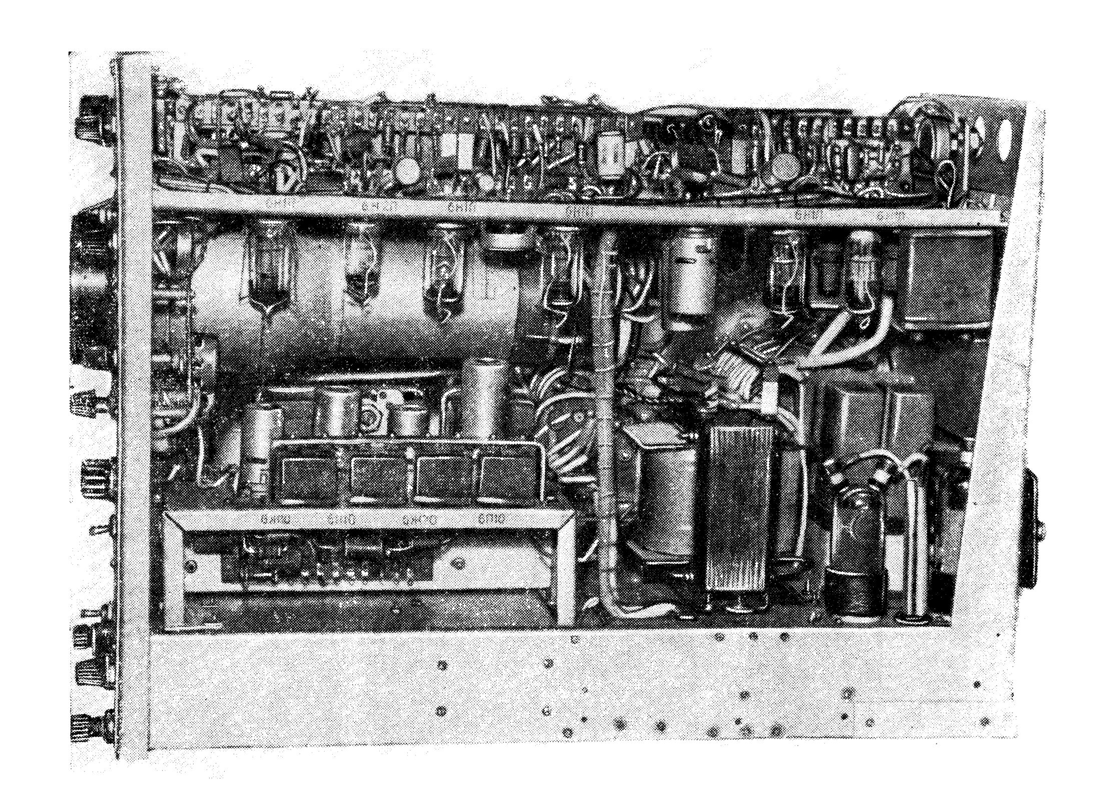


Рис. 52. Внешний вид прибора со снятым кожухом.

Усилитель сигналов состоит из двух отдельных блоков. Предварительный усилитель (лампы $Л_1$ и $Л_2$ на рис. 48) смонтирован в подвале шасси и заключен в экран из листовой стали толщиной 1 *мм*. При его сборке надо с особой тщательностью выполнять монтаж, чтобы исключить возможность самовозбуждения и уменьшить монтажные емкости. Необходимо хорошо экранировать вход усилителя. Второй блок усилителя расположен на нижнем шасси прибора.

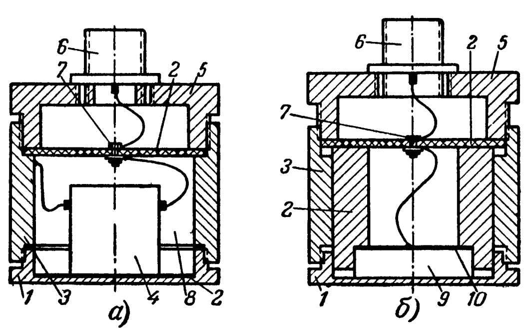


Рис 53 Схематический чертеж конструкции армировки пьезодатчиков из кристаллов сегнетовой соли и керамики титаната бария.

1 — дно; *2* — изоляционная прокладка; *3* — корпус; *4* — пьезодатчик из кристалла сегнетовой соли; *5* — крышка; *6* — высокочастотный разъем; *7* — переходный контакт; *8* — пространство, заполненное касторовым маслом; *9* — пьезодатчик из керамики титаната бария; *10* — контактная пластина.

При тщательно выполненном монтаже и правильно подобранных корректирующих индуктивностях оба блока усилителя не требуют особой наладки.

При работе с прибором в качестве преобразователей использовались пьезодатчики из титаната бария или кристаллов сегнетовой соли. В зависимости от условий эксперимента и свойств исследуемой среды применялись пьезодатчики, частота собственных колебаний которых изменялась в пределах 14—500 *кгц*. На рис. 53 представлены в схематическом виде преобразователи с кристаллом из сегнетовой соли (рис. 53,*а*) и пластиной из керамики титаната бария (рис. 53,*б*). Размеры отдельных элементов конструкции (армировки) датчиков выбираются в зависимости от размеров кристаллов или пластин. Надо только учитывать, что толщина дна датчика не должна превышать 0,2—0,5 *мм* (в зависимости от собственной частоты пьезоэлементов). Внешний вид одного из таких датчиков приведен на рис. 16.

Для работы с прибором сначала собирают измерительную установку по схеме на рис. 44. Между датчиками и образцом должен быть надежный акустический контакт. При проведении исследований с жидкими средами надежность такого контакта вполне обеспечивается самой жидкой средой. При исследованиях же на твердых средах для большей надежности акустического контакта применяют различные контактные материалы, в качестве которых обычно используются трансформаторное или касторовое масло (на высоких

частотах) и пластилин или тавот (на низких частотах). Иногда такой контакт осуществляют через воду.

После включения и 10-минутного прогрева прибора приступают к измерениям. Сначала с помощью переключателя $П_2$ и сопротивления R_{35} (см. рис. 45) добиваются появления на экране индикатора принятого ультразвукового сигнала. Затем по количеству меток на экране от отсчетного импульса до первого вступления сигнала определяют время (в микросекундах) между посланным и принятым импульсами. На это время делят расстояние (в метрах) между приемным и передающим датчиками и получают значение скорости распространения ультразвука (в метрах в секунду) для данной среды при данных условиях эксперимента. Так как эта скорость для большинства веществ зависит от температуры, ультразвуковые замеры необходимо сопровождать температурными измерениями.

Данный прибор может найти широкое применение при решении задач, связанных как с проведением различного рода физико-химических и механических исследований, так и с дефектоскопией изделий, причем наличие на экране индикатора волновой картины и меток времени позволит не только определить наличие дефекта в изделии, но и указать с большой точностью глубину его залегания.

13. Измеритель удлинений

В. Е. Казакевич

При различных исследованиях как физико-химических, так и механических контроль за протеканием того или иного процесса ведут по изменению геометрических размеров образца. Так как эти размеры, как правило, изменяются незначительно, для их измерения должны применяться приборы, обладающие высокой чувствительностью. Используемые для таких измерений оптические индикаторы (оптиметры) сложны по конструкции, громоздки, неудобны в эксплуатации и приводят к значительным систематическим и субъективным ошибкам.

Описываемый ниже измеритель удлинений позволяет регистрировать на бумажной ленте удлинение образцов в пределах 0—0,5 *мм* с ошибкой, не превышающей 1—2 *мк*. Принцип действия его заключается в том, что удлинение образца преобразуется индуктивным датчиком в электрический сигнал, регистрируемый после преобразования самопишущим потенциометром типа ЭПП-09. Прибор позволяет выбирать начало отсчета без специальной перестройки датчика. В нем предусмотрено автоматическое переключение шкал с соответствующей отметкой на бумаге номера шкалы.

Блок-схема прибора приведена на рис. 54. Измеритель содержит термостат с образцом, датчик, разгружающее устройство, усилитель, регистратор и механизм автоматического переключения шкал. Термостат с укрепленным на подставке образцом представляет собой футерованную вертикальную электрическую печь с дверцей сбоку. Сверху через отверстие на образец опущен разгруженный пружиной кварцевый стержень. На верхний торец стержня опущен шток датчика.

Индуктивный дифференциальный датчик (рис. 55) выполнен в виде двух стальных полых цилиндров, разрезанных по радиусу

для уменьшения влияния токов Фуко. Внутри цилиндров размещены катушки. Цилиндры обращены друг к другу своими открытыми торцами. В зазоре между ними расположен стальной диск (якорь), укрепленный на штоке. Зазор между цилиндрами ограничен разделительной втулкой (эбонитовым кольцом). Все детали датчика укреплены в алюминиевом корпусе с крышкой и направляющими подшипниками. Диск в зазоре между катушками движется вместе со штоком, изменяя при этом дифференциально их индуктивность (проницаемость магнитопровода). Форма и размеры деталей датчика

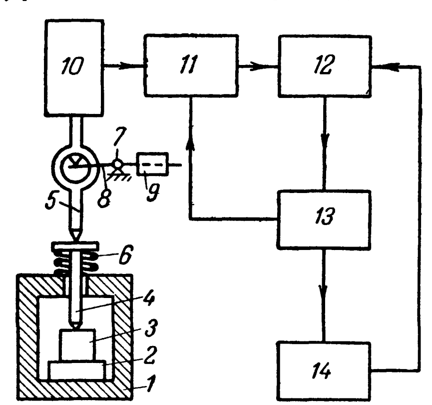


Рис. 54. Блок-схема измерителя удлинений.

1 — термостат; *2* — подставка; *3* — образец; *4* — кварцевый стержень; *5* — шток датчика; *6* — разгружающая пружина; *7* — рычаг; *8* — вилка; *9* — груз; *10* — датчик; *11* — усилитель; *12* — регистратор; *13* — механизм автоматического переключения шкал; *14* — устройство автоматической отметки шкал.

Рис. 55. Конструкция датчика.

1 — ярмо катушки; *2* — катушка, *3* — дисковый якорь; *4* — шток; *5* — разделительная втулка; *6* — корпус; *7* — крышка; *8* — подшипник.

обеспечивают независимость показаний и чувствительности прибора от возможных колебаний стержня. Разгружающее устройство (рис. 54) представляет собой рычаг с вилкой на одном конце и грузом на другом. Передвижением груза вдоль рычага можно уравновесить шток.

Электрическая схема измерителя удлинения (рис. 56) содержит генератор, индуктивный мост, усилитель и выходной балансный каскад Катушки датчика включены дифференциально в одну из ветвей моста, другую ветвь которого образуют первичные (дифференциальные) обмотки входного трансформатора усилителя. Мост питается от генератора током частотой 2,5 *кгц*. Генератор собран на лампе $Л_1$, а усилитель мощности — на лампе $Л_2$. С вторичной обмотки входного трансформатора сигнал, пропорциональный отклонению штока датчика от нулевого положения, детектируется лампой $Л_3$ и поступает на балансный каскад с лампой $Л_4$. Между катодами триодов лампы $Л_4$ включено нагрузочное сопротивление с шунтами, а в катодную цепь правого по схеме триода этой лампы включен делитель. Шунты и делитель при одновременном переключении обес-

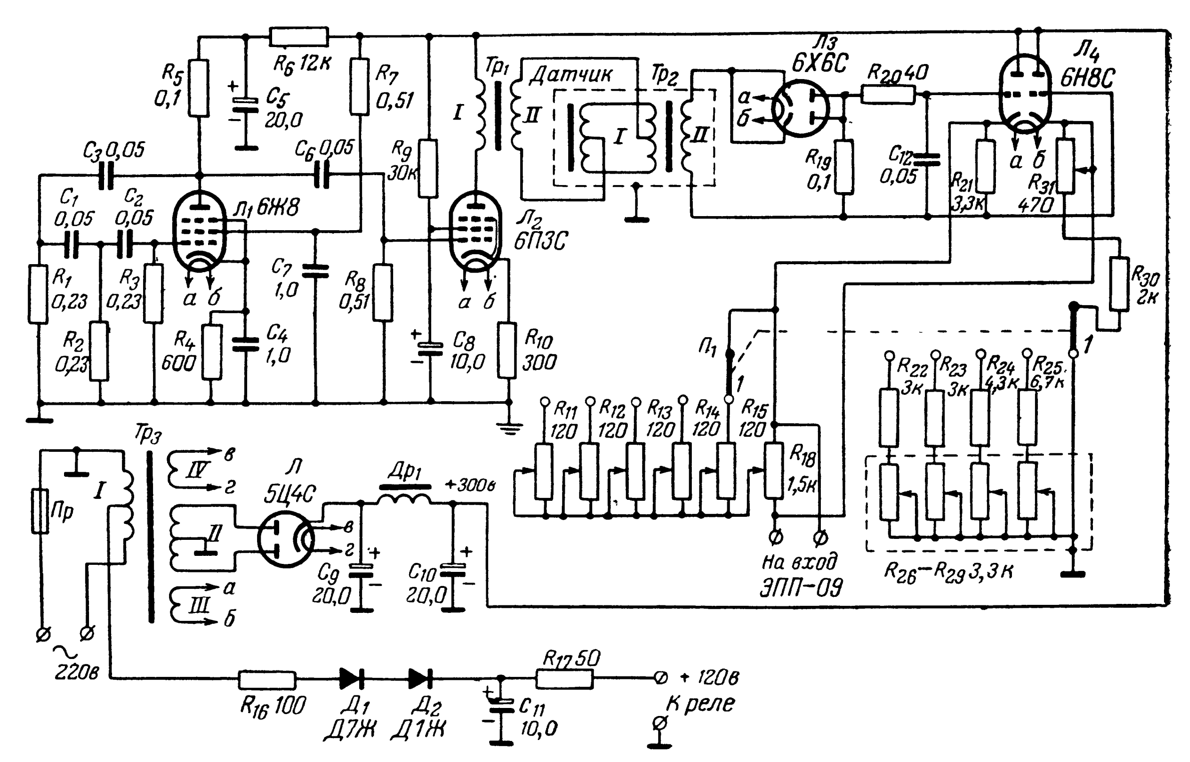


Рис. 56. Принципиальная схема измерителя удлинений.

печивают ступенчатое изменение тока через нагрузку по поддиапазонам без изменения чувствительности.

Ошибки измерения при работе с прибором, вызванные нестабильностью работы элементов схемы, уходом частоты генератора, дрейфом нуля и другими причинами, могут достигать величины 1,1% от всей шкалы регистрирующего потенциометра, т. е. они могут составлять 5—6 *мк*. Чтобы обеспечить возможность измерений в заданном диапазоне с ошибкой, не превышающей 1—2 *мк*, необходимо весь диапазон разделить на пять поддиапазонов с одинаковой чув-

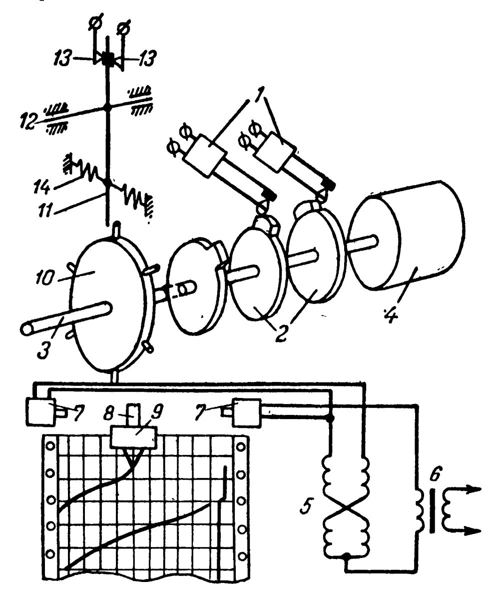


Рис. 57. Конструкция механизма автоматического переключения шкал.

1 — контактная группа; *2* — кулачок; *3* — ось; *4* — электродвигатель; *5* — фазирующие обмотки электродвигателя; *6* — обмотка статора; *7* — концевой выключатель; *8* — флажок каретки; *9* — каретка с держателем пера; *10* — диск с кулачками; *11* — рычаг; *12* — ось рычага; *13* — контакты; *14* — возвращающая пружина.

ствительностью по каждому из них, но с разными пределами измерений. В измерителе удлинений установлены следующие поддиапазоны: 0—100, 100—200, 200—300, 300—400 и 400—500 *мк*. Такое разделение реализуется скачкообразным переключением катодного сопротивления правого триода лампы $Л_4$ и шунтов нагрузки этой лампы. Переключение поддиапазонов производится автоматически.

Механизм автоматического переключения шкал (рис. 57) содержит шесть пар нормально открытых контактных групп. Под каждой парой расположен кулачок, который при вращении на $^1/_6$ часть оборота поочередно замыкает свою контактную группу. При

замыкании одна из групп каждой пары подключает соединенное с нею сопротивление к катоду правого триода лампы $Л_4$, изменяя пределы измерений. Другая группа каждой пары подключает к нагрузочному сопротивлению соответствующий шунт (рис. 56), корректируя изменения чувствительности по шкалам, связанные с некоторой нелинейностью амплитудных характеристик датчика и выходного каскада.

Кулачки (рис. 57) размещены на оси, приводимой в движение реверсивным синхронным электродвигателем типа СД-60, у которого фазирующие экраны заменены катушками, включенными последовательно попарно и питающимися от дополнительной статорной

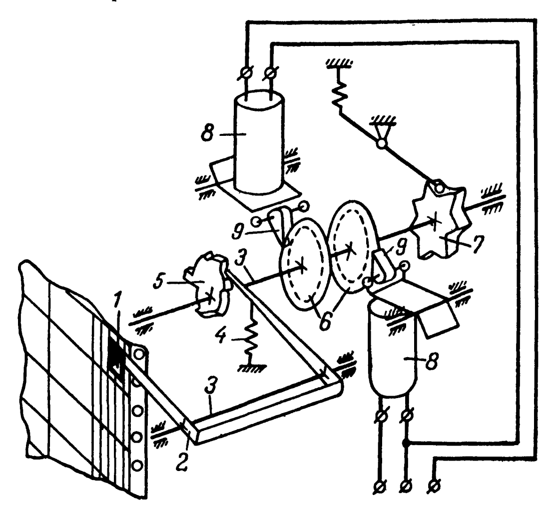


Рис. 58. Конструкция устройства автоматической отметки шкал.

1 — перо; *2* — фигурный рычаг; *3* — ось; *4* — пружина; *5* — фигурный кулачок; *6* — храповое колесо; *7* — фиксирующая звездочка; *8* — реле; *9* — собачка.

обмотки. Над шкалой самописца по ее краям размещены нормально разомкнутые группы (концевые выключатели). Они замыкаются при нажатии флажком, когда каретка доходит до конца (или начала) шкалы. При замкнутой контактной группе электродвигатель вращается в соответствующую сторону до тех пор, пока флажок с кареткой не отойдет от них. Это произойдет тогда, когда катодное сопротивление лампы $Л_4$ обеспечит укладку величины сигнала в соответствующий этой величине поддиапазон. Перо самописца при этом вычертит кривую до конца шкалы, затем перейдет к началу шкалы и будет продолжать вычерчивать продолжение этой кривой. Дополнительное перо при этом отметит номер шкалы, передвинувшись на новое деление. Отметка осуществляется автоматически.

Устройство автоматической отметки шкал показано на рис. 57 и 58. На оси *3* (рис. 57) насажен диск *10* с кулачками в виде шты-

рей. Над ним на оси *12* размещено коромысло *11*, удерживаемое в среднем положении пружинами *14*. Около верхнего конца коромысла размещены контакты *13*. При вращении диска в одну сторону каждый из штырей отклонит коромысло в эту сторону и замкнет на короткое время один из контактов. При вращении диска в другую сторону таким же образом будет замкнут другой контакт. Импульсы тока с контактов поступают на одно из реле *8* (рис. 58) реверсивного шагового механизма. Этот механизм содержит храповые колеса *6*, собачки *9*, фиксирующую звездочку *7* и фигурный кулачок *5*. К последнему прижимается пружиной коромысло держателя пера *2* (фигурный рычаг). На конце держателя укреплено перо *1*, касающееся диаграммной бумаги.

Импульс тока, соответствующий изменению поддиапазона измерения, приводит к повороту фигурного диска на некоторый угол шаговым механизмом. Скользящее по кулачку коромысло меняет свое положение. Изменяет положение и перо, прочерчивая при этом на бумаге линию уже на следующем делении, соответствующем номеру включенного поддиапазона.

Прибор выполнен в основном из готовых деталей. Трансформатор $Тр_1$ собран на сердечнике Ш-20×30. Обмотка *I* этого трансформатора состоит из 1 000, а обмотка *II*—100 витков провода ПЭЛ 0,35. Трансформатор $Тр_2$ имеет сердечник Ш-20×20. Его обмотка *I* содержит 2×750, а обмотка *II*—2 500 витков провода ПЭЛ 0,1. Трансформатор питания $Тр_3$ собран на сердечнике Ш-20×40. Обмотка *I* его состоит из 460+640 витков провода ПЭЛ 0,41, обмотка *II*—из 2×1 500 витков ПЭЛ 0,25, обмотка *III*—из 30 и обмотка *IV*—25 витков ПЭЛ 0,6. Датчик имеет обмотку из 2 × 2 000 витков ПЭЛ 0,1, намотанных на каркас с диаметром 18 *мм*.

Измеритель смонтирован в двух блоках. Один из них представляет собой массивный штатив, на котором размещены термостат и датчик с разгружающим механизмом, причем датчик может передвигаться в вертикальном направлении и фиксироваться в выбранном положении. Второй блок помещен на корпусе самописца ЭПП-09. В этом блоке смонтирована электронная часть прибора. В нем же на массивном основании собрано устройство автоматического переключения шкал. Устройство автоматической отметки шкал размещено на внутренней стороне панели самописца рядом с реохордом. Блоки соединены экранированным кабелем длиной 1,5 *м* (длина кабеля может быть увеличена, однако сопротивление проводов не должно превышать при этом 20 *ом*).

Питание прибора производится от электросети напряжением 220 *в*. Потребляемая мощность порядка 70 *вт*.

Амплитудная характеристика прибора (по измерению) линейна с точностью ±0,5 *мк* в пределах 0,8 *мм* с учетом коррекции ее по поддиапазонам. Ошибки, связанные с невоспроизводимостью результатов регистрации (измерения) за счет трения в подшипниках и других трущихся деталях датчика, составляют 0,3% всей шкалы. Суммарная ошибка составляет 1—2 *мк*.

Наладка прибора сводится к подгонке цепей включения датчика и к калибровке шкал. Генератор и входной каскад (лампы $Л_1$ и $Л_2$) настраивают обычным для таким каскадов способом. Лампа работает в режиме класса А. Настройка выходного балансного каскада (лампа $Л_4$) производится переменным сопротивлением R_{31} в положении *1* переключателя поддиапазонов $П_1$. Более точная на-

стройка баланса по поддиапазонам осуществляется переменными сопротивлениями R_{11}—R_{15} и R_{26}—R_{29}, причем эта операция проводится с полностью включенным прибором, а положение штока датчика устанавливается калиброванными щупами. Правильное положение пера отметчика шкал регулируется изменением положения оси держателя пера относительно фигурного кулачка. Диаграммная бумага для самописца ЭПП-09 выбирается на 55 делений (или 110 делений), причем последние (правые) 5 (или 10) делений используются для обозначения номеров шкал, а 50 (или 100) делений для регистрации процесса.

Прибор может быть использован не только для регистрации удлинений, но и для регистрации с большой точностью и относительно простыми средствами перемещений любых других объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиолюбительские конструкции электронных приборов для измерения неэлектрических величин вызывают все больший и больший интерес у инженеров и техников, работающих в самых различных отраслях народного хозяйства. Если несколько лет назад радиолюбители еще делали первые робкие шаги в области приборостроения, демонстрируя на выставках простые конструкции влагомеров, электротермометров, терморегуляторов, то теперь мастерство их значительно возросло. На выставках творчества радиолюбителей-конструкторов появились сложнейшие приборы, которые по своему техническому совершенству не только не уступают, но по ряду параметров и превосходят аналогичные образцы промышленной аппаратуры. Ярким подтверждением этого служат приведенные в данном сборнике описания таких приборов.

Образцы любительской электронной аппаратуры с успехом эксплуатируются на некоторых промышленных и сельскохозяйственных объектах, давая государству экономию в десятки и сотни тысяч рублей. При этом надо отметить, что радиолюбительские приборы, предназначенные для использования в народном хозяйстве, обычно значительно дешевле аналогичных промышленных образцов аппаратуры, так как для их изготовления, как правило, используются подручные, часто некондиционные материалы.

Об авторитете радиолюбителей-конструкторов говорит и тот факт, что работники совнархозов различных промышленных и сельскохозяйственных организаций обратились к радиолюбителям через Центральный радиоклуб ДОСААФ СССР с просьбой помочь им в изготовлении простых и надежных радиоэлектронных приборов для решения ряда конкретных задач

Так, например, управление радиотехнической и электротехнической промышленности совнархоза Горьковского экономического района предложило радиолюбителям разработать автоматическое устройство для регулирования температуры в термических печах, работающих на газе.

Совнархоз Целинного экономического административного района предложил изготовить контрольный прибор для определения свежести молока. Такой прибор должен информировать о сохранении качества молока в процессе его транспортировки. Подумайте, нельзя ли приспособить для этой цели «Измеритель концентрации растворов» Давыдова В. П.? Если можно, то, вероятно, вся переделка

прибора сведется лишь к изменению блока питания, с тем чтобы этот прибор можно было питать от электросети поезда.

Управлению стройматериалов совнархоза Свердловского экономического административного района нужен влагомер для измерения влажности термоизоляционного кирпича-сырца с точностью 0,1%. Может быть, для этого можно приспособить «Малогабаритный влагомер на транзисторах» конструкции Свиридова А. Ф.? Его прибор прост и надежен в работе.

Управлению водопроводно-канализационного хозяйства Моссовета нужен простой и надежный в работе радиоэлектронный анализатор для определения щелочности иловой воды.

Государственному комитету по автоматизации и машиностроению нужны радиоэлектронные приборы для бесконтактного измерения наружного диаметра и овальности труб диаметром до 1 200 *мм*, прутков и штанг из черных и цветных металлов в процессе холодной прокатки их при скорости движения до 6 *м/сек* и приборы для обнаружения усадочных раковин и расслоений в прокатных листах толщиной до 500 *мм* при скорости движения их до 2 *м/сек*. Задачи эти вполне разрешимы. Для решения как первой, так и второй части задания может быть с успехом применен ультразвук, причем нет смысла применять для этого импульсный ультразвуковой измерительный прибор, описанный в настоящем сборнике, так как можно изготовить на базе выпускаемого промышленностью прибора ИКЛ-5 (Р5-1) значительно более простую установку.

Можно было бы привести еще десятки тем, предложенных радиолюбителям для разработки, но мы считаем, что в этом нет необходимости, так как желающие могут обратиться в радиоклубы по месту жительства и ознакомиться там с соответствующими темниками.

В заключение хотелось бы сказать, что нег такой отрасли промышленности и сельского хозяйства, где радиолюбитель не смог бы применить свои знания и опыт. А этот сборник в какой-то мере должен помочь радиолюбителю выбрать схему измерительного прибора, подобрать необходимый датчик и тем самым решить стоящую перед ним задачу.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 23 коп.